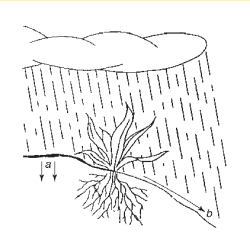
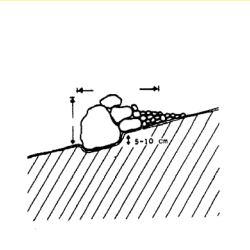
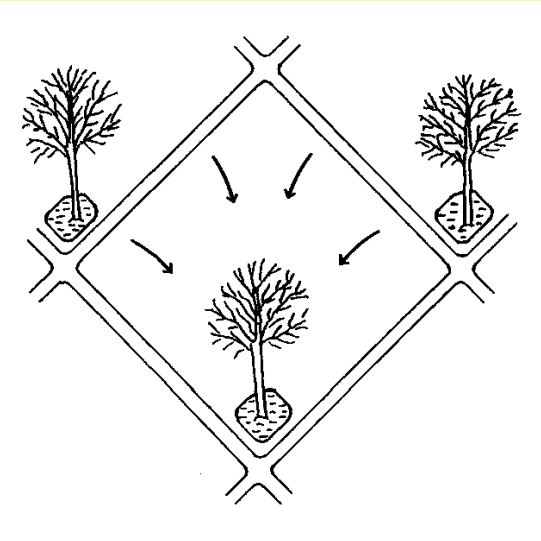
Série Agrodok No. 13

Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol





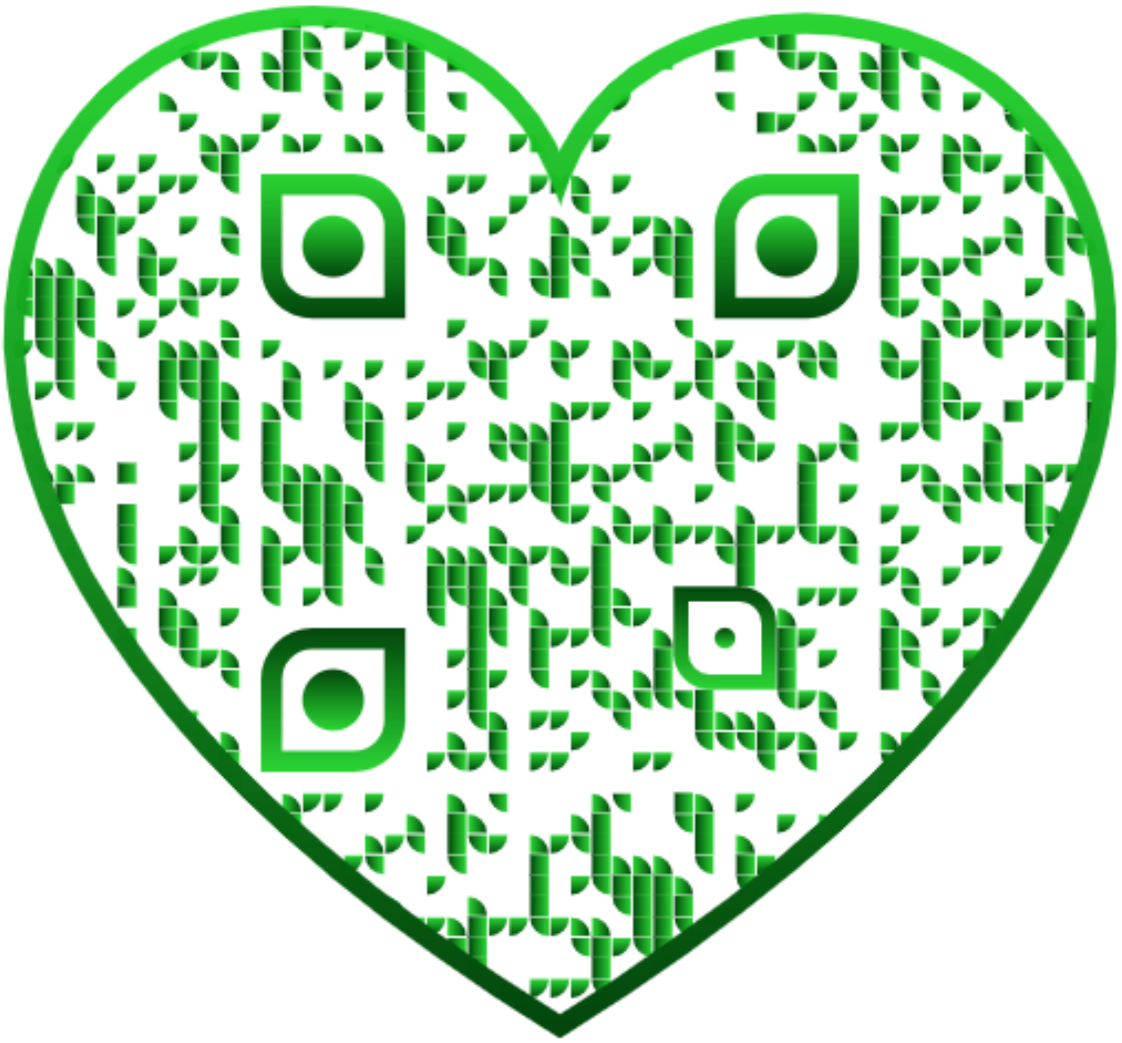


CTA

partageons les connaissances au profit des communautés rurales

sharing knowledge, improving rural livelihoods

SHOUT
SHARE
IT



Agrodok 13

Collecter l'eau et conserver l'humidité du sol

Justine Anschütz
Antoinette Kome
Marc Nederlof
Rob de Neef
Ton van de Ven

© Fondation Agromisa, Wageningen, 2004.

Tous droits réservés. Aucune reproduction de cet ouvrage, même partielle, quel que soit le procédé, impression, photocopie, microfilm ou autre, n'est autorisée sans la permission écrite de l'éditeur.

Première édition : 1998
Deuxième édition : 2004

Auteurs : Justine Anschütz, Antoinette Kome, Marc Nederlof, Rob de Neef, Ton van de Ven
Conception : Janneke Reijnders
Traduction : Evelyne Codazzi
Imprimé par : Digigrafi, Wageningen, Pays Bas

ISBN Agromisa: 90-77073-78-7

Avant-propos

La série des Agrodoks ne serait pas complète sans un numéro sur la manière de mettre à profit pour l'agriculture les eaux de pluie et de ruissellement originaires de sources plus petites que les rivières et les eaux souterraines. Antoinette Kome, Rob de Neef et Ton van de Ven ont comblé cette lacune et nous avons complété leur travail. Les techniques de collecte de l'eau décrites dans cet Agrodok "La collecte de l'eau et la rétention de l'humidité du sol" sont utiles surtout dans les zones (semi-)arides. Cependant, les techniques de rétention de l'humidité du sol sont applicables également dans les régions sub-humides.

Theo Meijer et Max Donkor ont contribué à la réalisation de cet Agrodok en nous donnant des conseils techniques. Agromisa remercie également Anne Gobin de l'Institut pour la gestion des terres et de l'eau de Louvain (Belgique) et Pierre Chevallier du Département d'Hydrologie de l'ORSTOM à Montpellier (France) pour leurs commentaires sur la première version. Notre reconnaissance va aussi à Lineke van Dongen pour son aimable collaboration à la mise au point rédactionelle et à la traduction en français certains termes techniques. Finalement, nous remercions Barbara Oranje qui a (re)dessiné un grand nombre d'illustrations.

Justine Anschütz & Marc Nederlof, rédacteurs
Wageningen, avril 1997

Sommaire

1 Pourquoi collecter l'eau et retenir l'humidite du sol ? 6

Partie I : La collecte de l'eau 9

2 Le principe de la collecte de l'eau 9
2.1 Définition 9
2.2 Conditions 10
2.3 Intrants nécessaires 12

3 La conception des systemes de collecte de l'eau 14
3.1 Introduction 14
3.2 Le système eau-sol 15
3.3 Infiltration et ruissellement 15
3.4 Pluie et ruissellement 18
3.5 Besoin en eau des produits agricoles 21
3.6 Calcul du rapport C:CA 23

4 Le choix des techniques de collecte de l'eau 30
4.1 Aperçu des différents systèmes et de leurs conditions 30
4.2 Drainage 32

5 Techniques de collecte de l'eau – systemes en courbe de niveau 36
5.1 Diguettes en pierres, barrières vives et lignes de résidus végétaux 36
5.2 Billons (sillons) en courbe de niveau 40
5.3 Diguettes en courbe de niveau pour les arbres 44
5.4 Diguettes en terre avec déversoirs en pierres 47

6 Techniques de collecte de l'eau – systemes libres 52
6.1 Puits de plantation ou Zaï 52
6.2 Microbassins fermés 55
6.3 Diguettes semi-circulaires 61

Partie II : Conservation de l'humidite du sol 67

7 Systemes en courbe de niveau pour ameliorer l'infiltration 67
7.1 Labour en courbe de niveau 68
7.2 La culture en bandes 69
7.3 Billons et diguettes en damier 71
7.4 Planches larges et sillons 73

8 Mesures pour ameliorer l'infiltration et la retention de l'eau 76
8.1 Les cultures de couverture 76
8.2 Mulching 78
8.3 Labour 81
8.4 Labour minimum et labour zéro 82

9 Reduction de l'évaporation et l'utilisation optimale de l'humidité du sol 84
9.1 Brise-vents 84
9.2 Semis à sec et semis à basse densité 86
9.3 Jachère 87
9.4 Culture relais et culture intercalaire 88
9.5 Exemple d'un système intégré en courbe de niveau 89

Annexe 1 : Equipement de billonnage à traction animale 92

Annexe 2 : Mesures de l'altitude et marquage des courbes de niveau 93

Bibliographie 97

Adresses utiles 100

Glossaire 103

1 Pourquoi collecter l'eau et retenir l'humidite du sol ?

L'eau est l'un des principaux besoins des végétaux. Cependant, la pluviosité est insuffisante et irrégulière dans la plupart des régions arides et semi-arides. Dans ces régions, le taux d'évaporation est généralement élevé pendant la saison de croissance. Lorsqu'il pleut, les pluies sont torrentielles et la plupart des sols ne peuvent pas absorber l'eau tombée en si peu de temps. Les pluies s'accompagnent donc d'une grande quantité de ruissellement superficiel.
En raison de ces caractéristiques climatiques, le peu d'eau de pluie disponible doit être utilisé le plus efficacement possible. Pour cela, soit on utilise le ruissellement superficiel (*collecte de l'eau*), soit on stimule l'infiltration et la conservation de l'eau de pluie (*rétention de l'humidité du sol*). Les avantages des techniques de collecte de l'eau et de rétention de l'humidité dans les zones (semi-)arides se résument comme suit : plus les plantes disposent d'eau, plus les rendements sont fiables et élevés. De plus, les plantes supportent mieux les périodes de sécheresse et une production végétale est possible là où elle n'aurait aucune chance de réussir dans les conditions normales.

La plupart des techniques de collecte de l'eau utilisent des grandes sources d'eau comme les rivières et les eaux souterraines (par ex. les puits et les systèmes d'irrigation) et exigent des investissements à grande échelle. Dans de nombreux pays cependant, des méthodes simples ont été mises au point pour collecter le ruissellement superficiel dans des buts de production. Le ruissellement est collecté et utilisé au lieu de provoquer l'érosion. Il existe de nombreuses techniques de collecte aux applications différentes. Cet Agrodok "**La collecte de l'eau et la rétention de l'humidité du sol**" décrit plusieurs de ces techniques. Alors que la collecte de l'eau utilise et même provoque le ruissellement superficiel (voir Figure 1), la rétention de l'humidité du sol a pour but d'éviter le ruissellement et de conserver l'eau de pluie le plus possible à l'endroit où elle tombe. Cependant, la distinction entre les deux types de techniques n'est pas toujours évidente, surtout quand

le bassin versant (qui produit le ruissellement) est très petit. De plus, les techniques de rétention de l'humidité du sol sont applicables dans la zone cultivée des systèmes de collecte de l'eau.

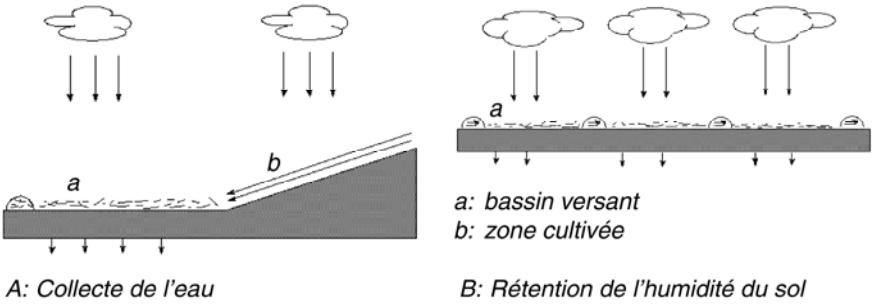


Figure 1 : Collecte de l'eau et rétention de l'humidité du sol

Cet Agrodok est destiné aux coopérants et aux conseillers agricoles qui travaillent dans les zones (semi)arides avec les paysans confrontés au manque d'eau, à des sols érodés et à de bas rendements. Deux remarques sont nécessaires ici : d'une part, les techniques décrites n'augmentent pas la quantité totale de pluie disponible dans une zone ; elles augmentent seulement la quantité d'eau disponible pour les plantes en collectant de l'eau qui autrement serait perdue. D'autre part, comme elles concentrent l'eau de ruissellement dans une petite zone (cultivée), les techniques de collecte de l'eau augmentent le risque d'érosion.

Cet Agrodok est composé comme suit :
La partie I (chapitres 2 à 6) traite de la collecte de l'eau. Après une introduction au chapitre 2, le chapitre 3 expose la théorie sous-jacente à la conception d'un système de collecte de l'eau. Le chapitre 4 traite du choix d'un bon système de collecte de l'eau et les chapitres 5 et 6 donnent des exemples de systèmes à petite échelle.
La partie II traite de la rétention de l'humidité du sol. Les chapitres 7 et 8 décrivent des mesures permettant d'augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol au profit de la production agricole. Finalement, le chapitre 9 décrit des mesures pour réduire les pertes d'eau dans le sol

en réduisant l'évaporation et des mesures pour optimaliser l'utilisation de l'humidité du sol.
Le glossaire donne une description de l'équipement de billonnage à traction animale pour réduire le travail manuel et l'Annexe 1 une explication détaillée de la méthode du niveau d'eau permettant de mesurer l'altitude, de marquer les courbes de niveau et de définir l'angle d'inclinaison de la pente.

Partie I : La collecte de l'eau

2 Le principe de la collecte de l'eau

2.1 Définition

Au sens le plus large, la collecte l'eau est le captage du ruissellement dans des buts de production agricole. Le ruissellement peut être collecté à partir des toits et des terres, mais aussi à partir des cours d'eau saisonniers. Les systèmes qui collectent le ruissellement des toits et des terres sont regroupés sous le terme de collecte de l'eau de pluie, et les systèmes qui collectent le ruissellement des cours d'eau saisonniers sous le terme de collecte de l'eau courante.
Cet Agrodok se limite à la collecte de l'eau de pluie à partir des terres. Le but des techniques décrites est de collecter l'eau au profit de la production agricole. Le principe des techniques de collecte de l'eau est illustré à la Figure 2. Les techniques décrites sont à petite échelle et peuvent être appliquées par des paysans individuels.

Un terrain ou *bassin versant* est volontairement laissé inculte. L'eau de pluie ruisselle de ce bassin versant vers la zone où les produits sont cultivés ou *zone cultivée*. Le ruissellement est retenu dans la zone cultivée grâce à des méthodes de rétention de l'humidité du sol (structures en terre ou en pierres). Ces méthodes permettent à l'eau de s'infiltrer dans le sol et d'être disponible pour les racines des plantes.

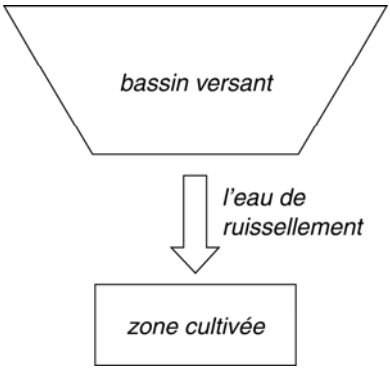


Figure 2 : Principe de collecte de l'eau pour la production agricole

Les techniques de collecte de l'eau à petite échelle collectent les eaux de pluie et de ruissellement dans de

petits bassins couvrant des pentes relativement courtes : la longueur de la pente est inférieure à 30 m (microbassins).

Le bassin versant est situé entre les champs cultivés. La collecte de l'eau de pluie est possible également sur des pentes plus longues (30 à 200 m) à l'extérieur des champs cultivés, mais cette technique n'entre pas dans le cadre de cet Agrodok. La Figure 3 donne un exemple d'un système de microbassins.

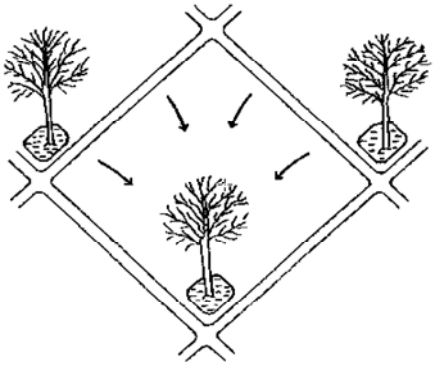


Figure 3 : Système de microbassins (Critchley, 1991).

2.2 Conditions

Climats

La collecte de l'eau convient surtout aux régions (semi-)arides (pluviosité annuelle moyenne : 300-700 mm). Elle est pratiquée aussi dans certaines zones arides (pluviosité annuelle moyenne :
200-300 mm). Il s'agit alors surtout de zones subtropicales de pluviosité d'hiver, comme le désert du Néguev en Israël et certaines régions d'Afrique du Nord. Dans la plupart des régions tropicales, la principale saison des pluies est l'été', quand les taux d'évaporation sont élevés. Dans les régions tropicales plus arides, le risque de perte de rendement est beaucoup plus élevé et les structures de collecte de l'eau sont plus coûteuses car elles doivent être beaucoup plus grandes.

Pentes

La collecte de l'eau n'est pas recommandée sur les pentes de plus de 5%, en raison de la distribution inégale du ruissellement, de l'érosion du sol et du coût élevé des structures nécessaires.

Sols et gestion de la fertilité du sol

Les sols de la zone cultivée doivent être assez profonds pour permettre une bonne capacité de rétention de l'humidité et pour être fertiles. Les

sols du bassin versant doivent avoir un faible taux d'infiltration. Voir Chapitre 3 "Système eau-sol".
Pour être productifs et durables, la plupart des systèmes de collecte de l'eau nécessitent une amélioration ou du moins le maintien de la fertilité du sol. La collecte de l'eau permet une meilleure disponibilité de l'eau et une hausse de rendement, et donc une meilleure exploitation des nutriments du sol. Les sols sableux ne profitent de l'eau supplémentaire que si l'on applique en même temps des mesures pour améliorer la fertilité du sol. L'Agrodok n° 2 : "La fertilité du sol" décrit différentes méthodes pour maintenir la fertilité du sol dans la zone cultivée.

Produits agricoles

L'un des principaux critères pour choisir une technique de collecte de l'eau est son adaptation à l'espèce végétale que l'on veut cultiver. Cependant, l'espèce végétale peut aussi être choisie en fonction de la structure. Le Chapitre 3 donne plus de détails sur les besoins en eau des plantes.
La différence essentielle entre les plantes pérennes (arbres) et les plantes annuelles est que les plantes pérennes exigent une concentration de l'eau *à certains endroits*, alors que les plantes annuelles profitent plus d'une distribution *égale* de l'eau sur la zone cultivée. On obtient une distribution égale en nivelant la zone cultivée. L'herbe supporte mieux que les céréales une distribution inégale de l'humidité.

Pour plus d'informations sur les produits agricoles pouvant être cultivés dans les systèmes de collecte de l'eau, voir Chapitre 3.

Critères techniques

Le choix d'une bonne technique de collecte de l'eau dépend de deux groupes de critères d'égale importance:

1 la méthode doit bien fonctionner du point de vue technique et
2 elle doit pouvoir s'intégrer dans le système de production des usagers.

Si la nouvelle technique comporte un trop grand risque de perte de production ou si elle exige des besoins en travail trop importants en comparaison aux méthodes éprouvées, elle ne conviendra pas, même si elle est bien conçue, car elle ne répondra pas aux priorités de ses futurs usagers.

2.3 Intrants nécessaires

Comme pour toutes les pratiques agricoles, les coûts et les bénéfices des systèmes de collecte de l'eau doivent s'équilibrer. Le bénéfice le plus concret est une hausse des rendements agricoles pour les paysans. Dans les années de pluviosité moyenne, la collecte de l'eau donne des hausses de rendement d'environ 50 à 100% selon le système utilisé, le type de sol, la gestion des terres, etc. De plus, certains systèmes permettent de cultiver des terres où rien ne poussait auparavant. Dans les années où la pluviosité est inférieure à la moyenne, les rendements sont généralement plus élevés que sur les lopins de contrôle. Cependant, l'effet peut être nul en cas d'année très sèche.

Coûts, travail et équipement

Les principaux coûts d'un système de collecte de l'eau sont dus aux constructions en terre et/ou en pierres. Le creusement des canaux de drainage, le ramassage et le transport des pierres, l'entretien des structures, etc. donnent une indication du coût du système. Ces besoins en travail sont généralement élevés.

La plupart des structures de collecte de l'eau sont construites pendant la saison sèche. Cependant, les paysans ne peuvent pas toujours investir beaucoup de travail bénévole dans ces structures. Pendant la saison sèche, ils sont souvent occupés à d'autres activités. Dans certaines circonstances, comme par exemple une forte pression sur les terres ou une forte dégradation de l'environnement, les paysans sont davantage disposés à investir dans la collecte de l'eau.

Les besoins en travail dépendent beaucoup du type d'équipement utilisé. Dans les systèmes à petite échelle, le travail est surtout effectué à la main. Les bêtes de trait, comme les boeufs, les ânes et les chevaux, sont parfois utilisés pour le billonnage et la confection des semis. Un

exemple d'équipement de billonnage simple à traction animale est la billonneuse (adosseuse) à versoirs. Pour plus d'informations sur cet équipement, voir Annexe 1.

3 La conception des systemes de collecte de l'eau

3.1 Introduction

Le manque d'eau dans la zone cultivée est complété avec l'eau du bassin versant (Figure 2). Pour concevoir un système de collecte de l'eau, il faut calculer ou estimer les dimensions du bassin versant pour être sûr de collecter suffisamment d'eau de ruissellement pour les produits de la zone cultivée. La relation entre les deux zones est exprimée par le rapport C:CA, c'est-à-dire le rapport entre le bassin versant C et la zone cultivée CA. Pour les plantes saisonnières, on utilise généralement un rapport C:CA de 3:1, c'est-à-dire que la superficie du bassin versant C doit être environ trois fois plus grande que celle de la zone cultivée CA.

Bien que le calcul du rapport C:CA permette d'obtenir des systèmes de collecte très précis, il est souvent difficile à établir dans les zones adaptées à la collecte. Dans ces zones, les données nécessaires (pluviosité, ruissellement et besoin en eau des plantes) sont rarement disponibles ou sont très variables. Elles différent d'un endroit à l'autre, d'une année à l'autre. Les calculs peuvent sembler exacts sans l'être vraiment car ils sont basés sur des données sujettes à une grande variabilité.

Par conséquent, les systèmes de collecte de l'eau sont souvent conçus à l'aide d'une estimation (supposition éclairée) du rapport C:CA. La plupart des systèmes de collecte de l'eau efficaces ont été établis sur les résultats d'une petite structure expérimentale préalable conçue à l'aide d'un rapport C:CA estimé. La conception de départ a ensuite été modifiée à la lumière de l'expérience.

Pour estimer le rapport C:CA et confirmer de manière critique les résultats du premier système expérimental, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement du système. Quels sont les facteurs qui influencent le fonctionnement d'un système de collecte de l'eau ? Ces facteurs sont passés en revue dans les paragraphes suivants. Le dernier paragraphe donne une formule permettant de calculer le rapport C:CA.

3.2 Le système eau-sol

L'objectif d'un système de collecte de l'eau est de collecter l'eau de ruissellement. Le ruissellement se produit dans le système eau-sol là où a lieu l'interaction entre la pluie et le sol (Figure 4). Le principe du système eau-sol est le suivant : le sol a une certaine capacité d'absorber l'eau de pluie. La pluie qui ne peut pas être absorbée s'écoule sur la surface du sol en *ruissellement superficiel*. La quantité de ruissellement dépend de la capacité d'absorption du sol et de la quantité de pluie tombée.

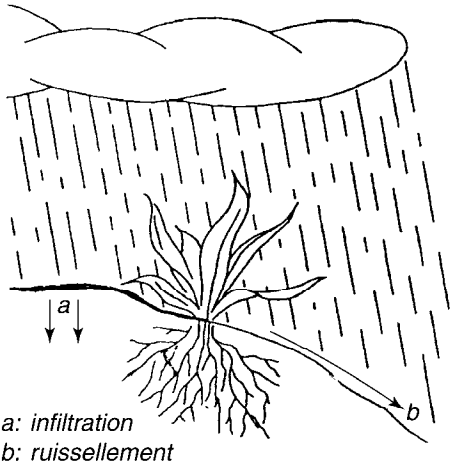


Figure 4 : Système eau-sol (Brouwer et al, 1986).

La quantité de pluie qui tombe sur le sol pendant un certain laps de temps est appelée *intensité de pluie* et est exprimée par la profondeur d'eau de pluie en mm à l'heure (mm/heure). La capacité d'absorption d'un sol ou *taux d'infiltration*, est exprimée par la profondeur d'eau en mm à l'heure (mm/heure). Le ruissellement se produit quand l'intensité de pluie excède le taux d'infiltration du sol.

3.3 Infiltration et ruissellement

Ce paragraphe donne les facteurs qui influencent le taux d'infiltration et le ruissellement.

Type et texture du sol

Le taux d'infiltration diffère pour chaque type de sol (voir Tableau 1). Le type de sol dépend de la *texture* du sol, c'est-à-dire des particules minérales qui le composent. On distingue trois principaux types de sol sur la base des trois principaux types de particules minérales : sableux,

limoneux et argileux. Un sol composé surtout de grosses particules de sable (texture grossière) est appelé sol sableux ; un sol composé surtout de particules de limon de taille moyenne (texture moyenne) est appelé sol limoneux ; un sol composé surtout de fines particules d'argile (texture fine) est appelé sol argileux. En réalité, la plupart des sols sont composés d'un mélange de différentes particules minérales de différentes tailles. Par exemple, le sol limoneux sableux du Tableau 1 est fait d'un mélange de particules de sable et de limon en proportions égales.

Tableau 1 : Taux d'infiltration courants (Brouwer et al., 1986).

Type de sol	Taux d'infiltration (mm/heure)
sableux	moins de 30
limon sableux	20-30
limoneux	10-20
limon argileux	5-10
argileux	1-5

La taille des particules minérales détermine la taille des espaces libres entre les particules ou *pores du sol*. Par exemple, l'eau s'infiltre plus facilement (taux d'infiltration plus élevé) dans les gros pores d'un sol sableux que dans les petits pores d'un sol argileux (taux d'infiltration plus bas).

Structure du sol

Le taux d'infiltration est influencé aussi par la *structure du sol*. La structure du sol est la manière dont les particules minérales adhèrent entre elles et forment des mottes ou *agrégats*. Par exemple, un sol sableux sec est un sol à texture sableuse et granuleuse car les particules de sable n'adhèrent pas entre elles et ne forment pas d'agrégats. Au contraire, certains sols argileux se fissurent en séchant et forment des agrégats (mottes) que l'on peut prendre dans la main. Ces types de sols ont une texture fine (particules d'argile) et une structure mixte grossière.

La taille et la distribution des "fissures" entre les agrégats influencent le taux d'infiltration d'un sol : un sol à fissures larges a un taux d'infiltration élevé.

Bassin versant et zone cultivée

Le sol du bassin versant doit transformer le maximum d'eau en ruissellement, c'est-à-dire que son taux d'infiltration doit être bas. Par exemple, si une forte pluie d'une intensité de 20 mm/heure tombe sur un sol argileux ayant un taux d'infiltration de 5 mm/heure, il y aura ruissellement ; si la même pluie tombe sur un sol sableux ayant un taux d'infiltration de 30 mm/heure, il n'y aura pas de ruissellement. Par conséquent, les sols sableux ne conviennent pas à la collecte de l'eau. En effet, la majeure partie de la pluie qui tombe sur le bassin versant est absorbée par le sol sableux et le ruissellement n'atteint pas ou très peu la zone cultivée.

Le sol de la zone cultivée doit non seulement avoir un taux d'infiltration élevé, mais aussi une bonne capacité de retention de l'eau infiltrée pour que cette eau puisse profiter aux produits cultivés. La combinaison idéale est un bassin versant au sol rocheux et une zone cultivée au sol limoneux, profond et fertile. Dans la pratique, les conditions du sol de la zone cultivée s'opposent souvent à celles du bassin versant. Dans ces cas, les besoins de la zone cultivée doivent toujours être prioritaires.

Colmatage

Le taux d'infiltration du sol dépend aussi de l'impact des gouttes de pluie sur la surface du sol. Les gouttes de pluie frappent la surface du sol avec une force considérable, ce qui provoque la rupture des agrégats et pousse les fines particules de sol dans les pores de la couche supérieure. Cela entraîne l'obstruction des pores et la formation à la surface du sol d'une couche fine, mais dense et compacte, qui réduit considérablement le taux d'infiltration. Cet effet, souvent appelé *cimentation, encroûtement* ou *colmatage*, explique les grandes quantités de ruissellement rencontrées dans les régions (semi-)arides où les pluies très intenses sont fréquentes.

Les sols très argileux et très limoneux sont les plus sensibles au colmatage. Les sols sableux à texture grossière sont relativement moins sensibles au colmatage.
Le colmatage du bassin versant favorise la collecte de l'eau car il diminue le taux d'infiltration. Cependant, le colmatage de la zone cultivée pose un problème. Pour réduire le taux d'infiltration de la zone cultivée, on rend inégale la surface du sol de la zone cultivée en pratiquant une certaine forme de labour : le billonnage (voir Partie II sur la rétention de l'humidité du sol).

Végétation

La végétation a un effet important sur le taux d'infiltration d'un sol. Un couvert végétal dense protège le sol contre l'impact des gouttes de pluie, réduit le colmatage du sol et augmente le taux d'infiltration. Le système radiculaire et les matières organiques présentes dans le sol augmentent aussi la porosité du sol et donc son taux d'infiltration. Sur les pentes douces surtout, la végétation ralentit le ruissellement, ce qui laisse davantage de temps à l'eau pour s'infiltrer. Les mesures de conservation du sol sont basées sur ce principe. Dans les systèmes de collecte de l'eau, le bassin versant doit si possible être aplani et laissé inculte.

Longueur de la pente

Les pentes raides produisent davantage de ruissellement que les pentes douces. Plus la pente est longue, moins il y aura de ruissellement car il faut de temps aux gouttes de pluie pour atteindre la zone cultivée, c'est-à-dire qu'elles sont exposées plus longtemps à l'infiltration et à l'évaporation. L'évaporation est un facteur important de perte de ruissellement dans les zones (semi-)arides à pluviosité d'été, en raison de la basse humidité et des températures de surface souvent élevées.

3.4 Pluie et ruissellement

Toute la pluie tombée sur le bassin versant ne se transforme pas en ruissellement. Le pourcentage de pluie qui se transforme en ruissellement dépend des différents facteurs mentionnés plus haut. Si l'intensi-

té de pluie est inférieure au taux d'infiltration du sol, il n'y aura pas de ruissellement. Le pourcentage de la pluviosité totale qui devient du ruissellement est appelée le *coefficient de ruissellement*. Par exemple, un coefficient de ruissellement de 0,20 signifie que 20% de toute la pluie tombée pendant la saison de croissance se transforme en ruissellement.
Chaque averse individuelle a son propre coefficient de ruissellement aussi. Pour la conception d'un système de collecte de l'eau, le coefficient de ruissellement saisonnier R est plus pertinent que le coefficient de ruissellement r pour chaque pluie. Le coefficient R permet de calculer le rapport C:CA. Au dernier paragraph de ce chapitre "Calcul du rapport C:CA", vous trouvez plus d'informations concernant la détermination du coefficient R.

Efficience

L'eau de ruissellement du bassin versant est retenue dans la zone cultivée et s'infiltre dans le sol. La plante ne peut pas utiliser toute l'eau collectée, car une partie se perd par *évaporation* et *percolation profonde* (voir le glossaire pour ces termes). L'utilisation par la plante de l'eau collectée est appelée l'*efficience* du système de collecte et est exprimée par un *coefficient d'efficience*. Par exemple, un coefficient d'efficience de 0,75 signifie que 75% de l'eau collectée est réellement utilisée par la plante. Les autres 25% sont perdus. Il faut donc collecter davantage d'eau pour répondre au besoin de la plante: le bassin versant devra être plus grand.

Capacité de rétention

La capacité d'un sol de retenir l'eau et de la rendre disponible aux plantes est appelée *taux de rétention de l'eau disponible*. Ce taux dépend du nombre et de la taille des pores du sol ou texture et de la profondeur du sol. Le taux de rétention de l'eau disponible est exprimé en mm de profondeur d'eau retenue par mètre de profondeur de sol (mm/m).
Le Tableau 2 donne les taux de rétention de l'eau des principaux types de sol.

Par exemple, un sol limoneux ayant un excellent taux de rétention de l'eau disponible (120 mm par mètre de profon-deur) perd de sa valeur s'il est peu profond. Une couche de terre de 40 cm sur un lit rocheux fournit seulement 48 mm d'eau disponible pour la plante.

Tableau 2 : Capacité de rétention de l'eau disponible.

Type de sol	Eau disponible(mm par mètre)
sableux	55
limon sableux	120
limon argileux	150
argileux	135

Le taux de rétention de l'eau disponible et la profondeur du sol ont des conséquences sur la conception d'un système de collecte. Par exemple, dans un sol de 2 mètres de profondeur ayant un bon taux de rétention de l'eau disponible de 150 mm/m, le taux de rétention de l'eau sera de 300 mm et l'eau de ruissellement sera facilement retenue dans la zone cultivée à des profondeurs supérieures à 300 mm (30 cm). Toute quantité d'eau supérieure à 30 cm sera perdue par drainage profond et formera un risque d'inondation. Le taux de rétention de l'eau disponible et la profondeur du sol ont aussi une conséquence sur le choix de l'espèce végétale. Un sol profond ayant un bon taux d'eau disponible ne peut être utilisé efficacement que par une plante ayant un système radiculaire profond. Les oignons par exemple, dont la profondeur d'enracinement de 30 à 40 cm, ne peuvent pas utiliser toute l'humidité retenue dans le sol. Le Tableau 3 donne la profondeur d'enracinement de plusieurs produits agricoles.

Tableau 3 : Profondeur d'enracinement de plusieurs produits agricoles (Doorenbos et al., 1979)

Plante	Profondeur d'enracinement (m)
Haricot	0.5-0.7
Maïs	1.0-1.7
Oignon	0.3-0.5
Riz	0.8-1.0
Sorgho	1.0-2.0
Tournesol	0.8-1.5

3.5 Besoin en eau des produits agricoles

Le besoin en eau d'une plante est la quantité d'eau dont elle a besoin pendant toute sa saison de croissance.
Chaque espèce végétale a son propre besoin en eau. Par exemple, le maïs adulte a besoin de davantage d'eau par jour que les oignons adultes (voir Tableau 4).

Tableau 4 : Besoin en eau, période de croissance et sensibilité à la sécheresse de certains produits agricoles (Brouwer et al, 1986)

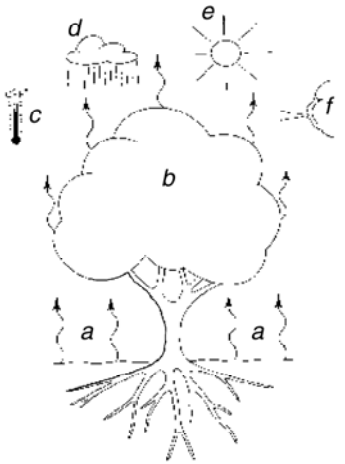
Produit agricole	Période de croissance totale(jours)	Besoin en eau du produit (mm/période de croissance)	Sensibilité à la sécheresse
Haricot	95-110	300-500	moy.-forte
Maïs	125-180	500-800	moy.-forte
Melon	120-160	400-600	moy.-forte
Mil	105-140	450-650	faible
Oignon	150-210	350-550	moy.-forte
Riz	90-150	450-700	forte
Sorgho	120-130	450-650	faible
Tournesol	125-130	600-1000	faible-moy.

Au sein d'une même espèce, le besoin en eau peut être très variable. Les besoins en eau d'une plante comprennent la transpiration et l'évaporation (Figure 5), autrement dit l'*évapotranspiration*.

Le besoin en eau d'un produit est influencé par le climat sous lequel il est cultivé. Par exemple, une variété de maïs cultivée sous un climat froid et nuageux aura besoin de moins d'eau par jour que la même variété cultivée sous un climat chaud et ensoleillé. Les principaux facteurs climatiques sont présentés à la Figure 5 et au Tableau 5.

La durée totale de la saison de croissance varie pour chaque produit. Par conséquent, le besoin total en eau pendant la saison de croissance dépend de l'espèce végétale. Par exemple, le besoin en eau par jour des melons est plus élevé que celui des haricots, car la durée de la saison de croissance totale des melons est beaucoup plus longue. Le Tableau 4 donne une indication de la saison de croissance totale de cer-

tains produits. En général, la saison de croissance est plus longue sous un climat froid.



a: évaporation
b: transpiration
c: température
d: humidité
e: soleil
f: vitesse du vent

Figure 5 : Principaux facteurs climatiques influençant les besoins en eau des produits agricoles (Brouwer et al.,1986).

Tableau 5 : Influence du climat sur le besoin en eau des produits agricoles (Brouwer et al, 1986)

Facteur climatique	**Besoin en eau des produits agricoles**	
	Élevé	**Bas**
Température	élevée (chaud)	basse (froid)
Humidité	basse (sec)	élevée (humide)
Vitesse du vent	vents violentsens	vent calme
Insolation	oleillé (absence de nuages)	nuageux (absence de soleil)

Pendant une même saison de croissance, le besoin en eau par jour varie avec les stades de croissance de la culture.
Les produits agricoles ne diffèrent pas seulement dans leur besoin en eau mais aussi dans leur réaction aux manques d'eau. Lorsque le besoin en eau n'est pas satisfait, les produits très sensibles à la sécheresse souffrent d'une baisse de rendement plus forte que les produits peu sensibles. Le Tableau 4 donne une indication de la sensibilité à la sé-

cheresse de certains produits. Dans les zones où le ruissellement est incertain, il est donc fortement conseillé de cultiver des produits peu sensibles à la sécheresse.

Produits agricoles

Vu la grande variété des besoins en eau des produits agricoles, il est préférable de rechercher localement des données sur les besoins en eau d'un certain produit. Si on ne dispose d'aucune donnée, il suffit souvent de se référer à une estimation du besoin en eau des produits courants (voir Tableau 4).

Arbres

Les besoins en eau des arbres sont généralement plus difficiles à déterminer que ceux des produits agricoles. Pour la plupart des arbres, le stade critique est les deux premières années de l'établissement des plants. Une fois leur système radiculaire entièrement développé, les arbres ont une forte résistance à la sécheresse. Peu d'informations sont disponibles en termes de rendement sur la réaction des arbres à la sécheresse.

Pâturages et plantes fourragères

Le besoin en eau des pâturages et des espèces fourragères cultivées dans les zones (semi-)arides dans des systèmes de collecte de l'eau n'est généralement ni estimé ni calculé. L'objectif est d'améliorer le rendement et d'assurer la survie des cultures d'une saison à l'autre, sans pour cela satisfaire entièrement leur besoin en eau.

3.6 Calcul du rapport C:CA

Calcul du besoin en eau des produits agricoles

Comme on l'a vu plus haut, le besoin en eau d'une plante dépend de son espèce et du climat sous lequel elle est cultivée. Pour faciliter le calcul du besoin en eau des produits agricoles sous certaines conditions climatiques, on prend l'herbe comme *produit de référence*. Le besoin en eau de l'herbe a déjà été déterminé pour la plupart des zones climatiques (voir Tableau 6). Le besoin en eau du produit de référence

est appelé *évapotranspiration de référence, ET_0,* exprimée en mm de profondeur d'eau par jour (mm/jour). Il existe des méthodes plus compliquées pour déterminer l'évapotranspiration de référence, mais une estimation à l'aide du Tableau 6 suffit pour la conception d'un système de collecte de l'eau. Des données plus précises sur le ET_0 peuvent être obtenues sur place.

Tableau 6 : Valeurs indicatives de l'évapotranspiration de référence ET_0 (Brouwer et al., 1986)

Zone climatique	**Température de jour moyenne**		
	basse (< 15°C)	**moyenne (15-25°C)**	**élevée (> 25°C)**
	ET_0 (mm/jour)	**ET (mm/jour)**	**ET_0 (mm/jour)**
Désertique (aride)	4-6	7-8	9-10
Semi-aride	4-5	6-7	8-9
Sub-humide	3-4	5-6	7-8
Humide	1-2	3-4	5-6

En utilisant le besoin en eau du produit de référence comme point de départ pour le calcul du besoin en eau des produits, on prend déjà en compte l'influence du climat. Il ne reste qu'à établir un rapport entre les besoins en eau du produit de référence et ceux du produit que l'on veut cultiver.
Pour établir ce rapport, on utilise le *coefficient cultural* K_c. Pour obtenir le besoin en eau du produit que l'on veut cultiver, on multiplie ce coefficient par le besoin en eau du produit de référence. La formule est la suivante :

$ET_{culture} = K_c \times ET_0$
$ET_{culture}$ = évapotranspiration de la culture en mm/jour
K_c = coefficient cultural
ET_0 = évapotranspiration de référence en mm/jour

Le besoin en eau d'une culture varie selon son stade de croissance. Dans la collecte de l'eau, le paysan contrôle mal la quantité d'eau apportée ; il ne contrôle que son rythme. Par conséquent, il est peu utile de calculer la quantité d'eau dont la culture a besoin à chacun de ses stades de croissance. Pour la conception d'un système de collecte, il

suffit de calculer la quantité totale d'eau dont la culture a besoin pendant toute sa saison de croissance.

On calcule $ET_{culture}$ à l'aide de la formule $ET_{culture} = K_c \times ET_0$, avec des valeurs moyennes de K_c et ET_0 pour la saison de croissance totale.

Le Tableau 7 donne les valeurs moyennes de K_c de certains produits.

Un exemple de calcul du besoin en eau des produits agricoles est donné ci-dessous.

Tableau 7 : Valeurs moyennes du coefficient cultural (Critchley, 1991)

Produit agricole	K_c moyen
Coton	0.82
Arachides	0.79
Légumineuses	0.79
Maïs	0.82
Mil	0.79
Sorgho	0.78

Calcul de la pluviosité nominale

La quantité de pluie tombée pendant la saison de croissance du produit sert de base à la conception d'un système. C'est ce qu'on appelle la *pluviosité nominale*.

La difficulté de choisir la bonne pluviosité nominale est due à la grande variabilité des pluies dans les régions (semi-)arides. Alors que la pluviosité annuelle moyenne peut être de 400 mm, il peut y avoir des années sans aucune pluie et des années "humides" avec 500 ou 600 mm de pluie, ou même plus.

Si la pluviosité réelle est inférieure à la pluviosité nominale, le bassin versant ne produira pas suffisamment de ruissellement pour satisfaire le besoin en eau des produits ; si la pluviosité réelle dépasse la pluviosité nominale, il y aura trop de ruissellement, ce qui risque d'endommager la structure de collecte.

En concevant un système de collecte de l'eau, il faut veiller à ce que le système résiste bien au courant de l'eau et choisir des produits peu sensibles à la sécheresse pour minimaliser le risque de pertes pendant les années où la pluviosité nominale n'est pas atteinte. Il est conseillé d'essayer des variétés résistantes à la sécheresse déjà cultivées dans la région, car cela permet de comparer leurs résultats dans le nouveau système de collecte.

Exemple de calcul du besoin en eau des produits agricoles.

Produit à cultiver: Sorgho
Durée de la saison de croissance: 120 jours
Moyenne K_c: 0,78

ET_0 (calculée par le service météorologique, ou estimée) :

mois	1	2	3	4
ET0 (mm/jour)	9	8.5	8	8

Calcul de ET_0 moyenne pour la saison de croissance :
$ET_0 = (9 + 8,5 + 8 + 8) / 4 = 8,4$ (mm/jour)

Calcul de $ET_{culture}$:
$ET_{culture} = 0,78 \times 8,4 = 6,55$ (mm/jour)

Besoin en eau moyen pour la saison de croissance =
$6,55 \times 120 =$ env. 790 mm

(Critchley, 1991)

Détermination du coefficient de ruissellement

La première méthode pour déterminer le coefficient R est de faire une supposition éclairée et de procéder ensuite par tâtonnements. Généralement, la valeur du coefficient de ruissellement saisonnier (annuel) R varie entre 0,20 et 0,30 sur les pentes de moins de 10%. Il peut aller jusqu'à 0,50 sur les bassins versants naturels rocheux. Le coefficient de ruissellement R est souvent estimé ou évalué sur la base des résultats des premiers systèmes expérimentaux de collecte l'eau.

La seconde méthode, plus précise mais plus compliquée, pour déterminer le coefficient R consiste à mesurer d'abord le coefficient r pour chaque pluie et de déterminer ensuite le coefficient de ruissellement saisonnier (annuel). Critchley (1991) recommande de mesurer le coefficient r pendant une période d'au moins deux ans avant de commencer un programme de construction plus grand. Pour mesurer le coefficient r, on aménage des *lopins de ruissellement*. Il s'agit de lopins de terre aménagés dans une partie représentative de la zone où le système de collecte est prévu. Les lopins de ruissellement permettent de mesurer la quantité de ruissellement pour chaque pluie.
On peut aussi utiliser des coefficients de ruissellement déterminés dans des zones voisines, mais il faut être prudent. Le coefficient de ruissellement dépend en grande mesure des conditions locales.

Le coefficient d'efficience

La quantité d'eau collectée qui peut réellement être utilisée par le produit agricole est exprimée par le *coefficient d'efficience*. L'efficience est plus grande si la zone cultivée est nivelée. Le coefficient d'efficience se situe environ entre 0,5 et 0,75. Si on ne dispose pas de données exactes (étudiez les systèmes d'irrigation voisins), le seul moyen d'estimer le coefficient est de se fier à son expérience, c'est-à-dire par tâtonnements.

Formule pour calculer le rapport C:CA :

1 Eau nécessaire dans la zone cultivée (CA) =
Eau collectée dans le bassin versant (C)

2 Eau nécessaire dans la zone cultivée (CA) =
[Besoin en eau des produits – pluviosité estimée] × CA (m^2)

et

Eau collectée dans le bassin versant (C) =
R × pluviosité estimée × coefficient d'efficience × C (m^2)

3 par conséquent :
[Besoin en eau des produits – Pluviosité estimée] × CA =
R × Pluviosité estimée × Coefficient d'efficience × C

ou

$$C{:}CA = \frac{\text{Besoin en eau des produits} - \text{Pluviosité estimée}}{\text{R} \times \text{Pluviosité estimée} \times \text{Coefficient d'efficience}}$$

Le calcul du rapport C:CA à l'aide de cette formule est utile en premier lieu pour des systèmes où l'on cultive des produits. Pour les arbres, le rapport C:CA est difficile à déterminer et un calcul approximatif suffit. Généralement, les arbres sont cultivés dans des systèmes de microbassins. Il suffit de donner au microbassin la même taille que le bassin versant. La taille du microbassin pour chaque arbre varie environ de 10 à 100 m^2 selon le climat et l'espèce cultivée.
Pour les pâturages et les plantes fourragères, l'objectif des systèmes de collecte de l'eau est d'améliorer les rendements sans pour autant répondre entièrement aux besoins en eau des plantes. Par conséquent, une estimation du rapport C:CA est suffisante. Le calcul du rapport C:CA pour les produits agricoles est illustré dans l'exemple ci-dessous. Un rapport C:CA de 2:1 à 3:1 convient généralement à la conception de systèmes de microbassins utilisés pour les pâturages et les plantes fourragères.

Exemple de calcul du rapport C:CA pour les produits agricoles

Climat:	Semi-aride
Technique de collecte:	à petite échelle, par ex. billons en courbe de niveau
Produit:	Sorgho
Besoin en eau du produit	550 mm
Pluviosité estimée:	320 mm
Coefficient de ruissellement(R):	0,50
Coefficient d'efficience:	0,70

C:CA = (550 – 320) / (320 × 0.50 × 0.70) = 2.05

Conclusion : le bassin versant doit être environ 2 fois plus grand que la zone cultivée.
On a vu plus haut que l'on utilise souvent un rapport C:CA de 3:1. Cependant, ce rapport est souvent plus bas dans les systèmes à petite échelle. Cela est dû au coefficient de ruissellement plus élevé en raison de la pente du bassin plus courte et au coefficient d'efficience plus élevé en raison d'une rétention moins profonde de l'eau de ruissellement dans la zone cultivée.

(Source : Critchley, 1991)

4 Le choix des techniques de collecte de l'eau

4.1 Aperçu des différents systèmes et de leurs conditions

Le choix d'une bonne technique de collecte de l'eau dépend des conditions mentionnées au Chapitre 2. Ces conditions sont : le climat, les pentes, les sols et la fertilité du sol, les espèces végétales et les aspects techniques.

Les techniques de collecte de l'eau décrites dans cet Agrodok conviennent à de systèmes couvrant une pente courte (1 à 30 m). Seules des diguettes semi-circulaires conviennent à des pentes plus longues (30 à 200 m).

Les systèmes de collecte de l'eau se classent en deux catégories : les *systèmes en courbe de niveau*, c'est-à-dire les systèmes dans lesquels les diguettes suivent la courbe de niveau et les *systèmes libres*, c'est-à-dire les systèmes dans lesquels les diguettes ne suivent pas la courbe de niveau mais entourent une partie de la pente.

Les systèmes de collecte de l'eau pour les arbres doivent avoir un puits d'infiltration car l'eau collectée doit se concentrer près de l'arbre. Sur les pentes longues, on ne trouve pas de systèmes avec puits d'infiltration car la quantité de ruissellement collectée par ces systèmes est trop grande pour un puits d'infiltration. Dans ces systèmes, l'eau est retenue dans une zone cultivée plus grande et est utilisée soit pour les plantes fourragères/pâturages, soit pour les produits cultivés.

La figure 6 à la page suivant donne un aperçu des critères de sélection des différents systèmes de collecte de l'eau. La liste donnée à la Figure 6 est loin d'être complète. Vous rencontrerez sûrement d'autres techniques traditionnelles ou plus récentes.

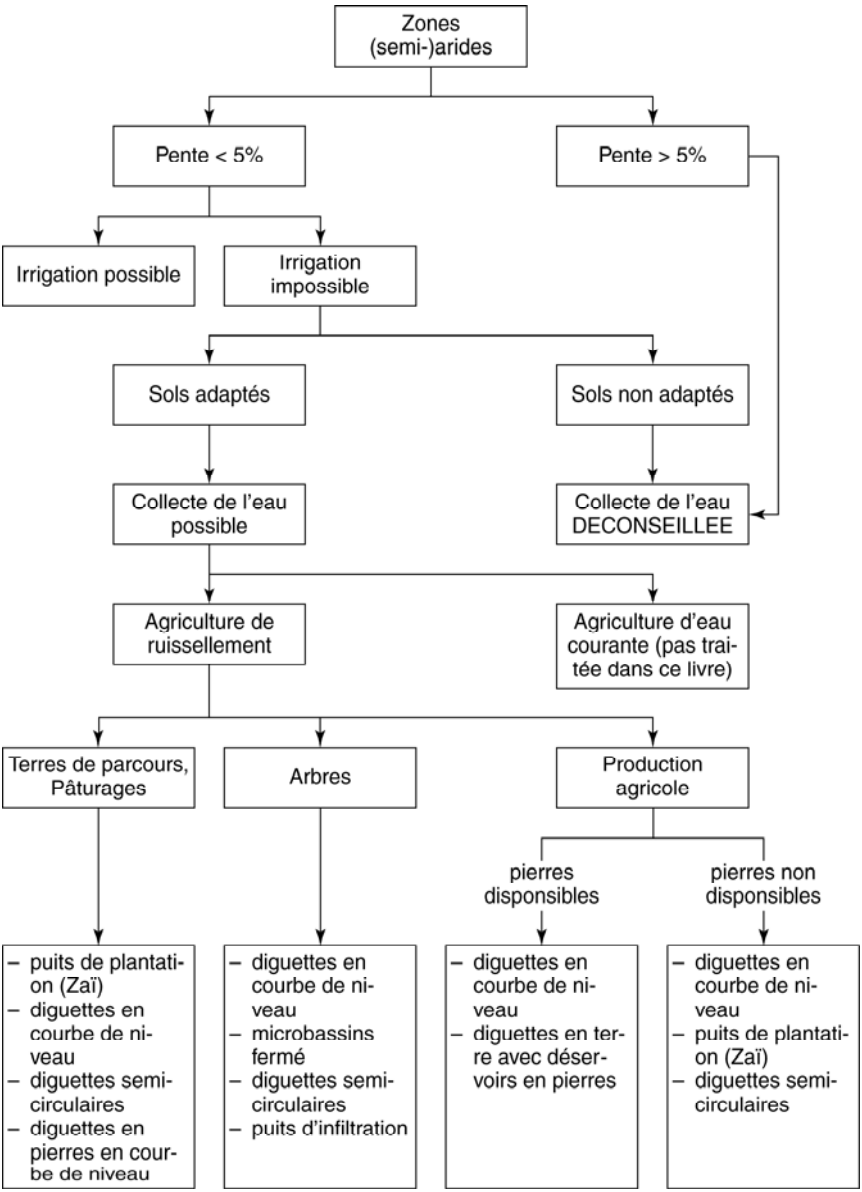


Figure 6 : Aperçu des différents systèmes de collecte de l'eau (Critchley, 1991).

De nombreuses variantes sont possibles dans les systèmes de collecte de l'eau. Les diguettes peuvent être construites en différents matériaux : terre, pierres, matériel végétal vif ou mort (barrières vives ou lignes de résidus végétaux). Certaines diguettes ont une installation pour drainer l'excès d'eau collectée, d'autres n'en ont pas (voir paragraphe suivant). Dans les systèmes libres, la disposition des diguettes présente plusieurs variantes. Elles peuvent être semi-circulaires, en forme de V ou rectangulaires.

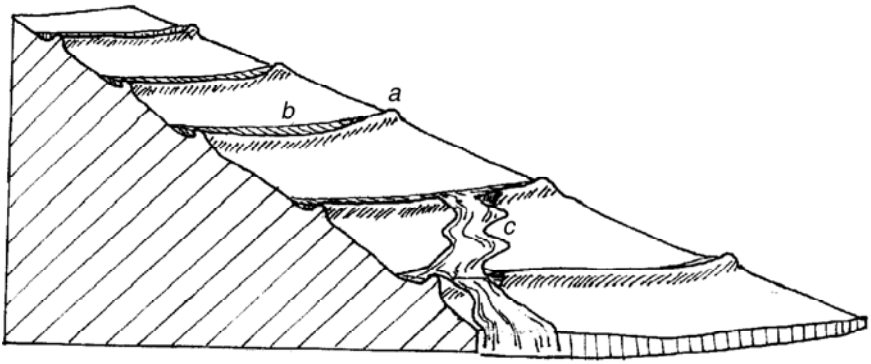
La zone fermée peut être très petite, comme dans le système de puits d'infiltration ou Zaï, ou très grande comme cela peut être le cas pour la zone entourée par les diguettes semi-circulaires (ou trapézoïdales). Etant donné le grand nombre de variantes possibles, les systèmes décrits dans ce livret peuvent facilement être adaptés aux circonstances locales. Le principe général est que tous les systèmes de collecte sont basés sur une diguette qui soit suit la courbe de niveau, soit entoure une partie de la pente.

Le drainage de l'excès d'eau est décrit au chapitre suivant. Les systèmes de collecte les plus courants sont présentés aux Chapitres 5 et 6 : les systèmes en courbe de niveau au Chapitre 5, et les systèmes libres au Chapitre 6.

4.2 Drainage

Bien que les pentes recommandées pour les systèmes de collecte de l'eau ne doivent pas dépasser 5%, la concentration du ruissellement comporte un risque d'érosion du sol, en particulier dans les zones de pluies intenses et sur les pentes longues et raides. La plupart des techniques de collecte de l'eau décrites dans cet Agrodok utilisent des installations permettant de contrôler le drainage de l'excès de ruissellement.
Les systèmes de collecte de l'eau sont généralement construits le long des courbes de niveau d'un flanc de coteau. Les systèmes de collecte construits le long des courbes de niveau sont ont plus de chances d'éviter l'érosion du sol et entraînent une répartition égale de l'eau col-

lectée sur la zone cultivée. Pour déterminer les courbes de niveau, on se sert d'un niveau d'eau. La construction et l'utilisation de cet instrument simple sont expliquées dans l'Annexe 2. D'autres techniques sont expliquées dans l'Agrodok N° 6 "Mesures de topographie pour le génie rural".
Les structures de collecte de l'eau sont généralement construites en terre ou en pierres. Les diguettes en terre et en pierres diffèrent dans leur capacité de retenir l'eau qui s'accumule derrière elles. Les diguettes en terre risquent davantage d'être inondées (l'eau passe par-dessus), et de se rompre. Les diguettes en pierres sont moins compactes et l'eau peut s'infiltrer au travers. Les diguettes en pierres présentent donc moins de risques de rupture et d'inondation.



a: diguette suivant la courbe de niveau
b: eau accumulée derrière une diguette
c: eau de ruissellement formant une ravine et rompant les structures situées plus bas

Figure 7 : Diguette en courbe de niveau rompue par inondation

L'inondation
Si l'eau passe par-dessus une diguette, la structure en courbe située en dessous collecte davantage d'eau. Cela risque d'entraîner la rupture d'une diguette. L'eau s'écoule par la brèche et une ravine se forme. Le même danger se présente si les structures ne suivent pas exactement la courbe de niveau. L'eau s'écoule vers le point le plus bas de la structure qui risque alors de s'affaiblir et de se rompre.

Il y a davantage de risques d'inondation dans les zones où la quantité et l'intensité de la pluie varie beaucoup ou sur les pentes irrégulières. Dans ces cas, il peut être nécessaire d'aménager des déversoirs dans les diguettes en terre, ou de creuser un canal de drainage perpendiculairement aux courbes de niveau. Un bon drainage est particulièrement nécessaire sur les sols argileux.

Le canal de drainage

La Figure 8 donne un exemple d'un système de drainage pour une structure en courbe de niveau. Les billons sont inclinés de 0,25% par rapport à la courbe de niveau. Ainsi, l'eau est obligée de couler dans le canal de drainage. N.B. Le canal de drainage ne doit avoir plus de 400 m de longueur, sinon la quantité d'eau sera trop grande et le courant trop rapide, ce qui augmentera le risque de formation de ravines. Pour réduire la vitesse du courant, on plante de l'herbe dans le canal de drainage.

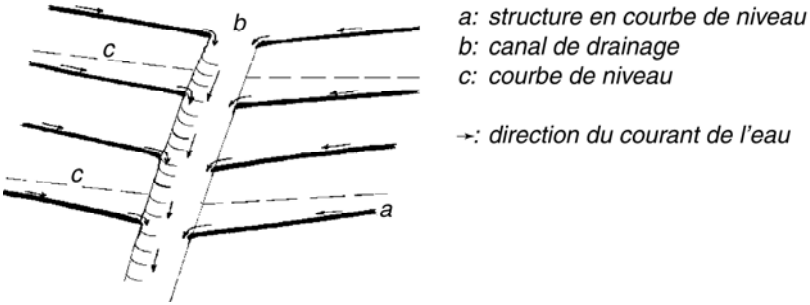


Figure 8 : Drainage d'une structure en courbe de niveau: l'excès d'eau est canalisé à l'aide de diguettes construites légèrement en pente à partir de la courbe de niveau.

Fossé de protection

Il faut veiller non seulement à concevoir une installation de drainage des structures individuelles, mais aussi à bien localiser le système dans le bassin versant. Le système est souvent installé sur les parties basses du bassin versant, avec des sols profonds en pente légère. Le ruissellement superficiel à partir des parties plus élevées du bassin

versant risque de pénétrer dans le système de collecte et de provoquer de gros dégâts. Une première mesure de protection est de construire un *fossé de protection* (ou *fossé de dérivation*) juste au-dessus du système de collecte. Le fossé de protection détourne l'excès de ruissellement vers un système de drainage principal naturel ou creusé. Dans ce cas, le système de drainage principal doit être bien conçu.

Le fossé de protection doit avoir 0,50 m de profondeur, de 1 à 1,5 m de largeur et une inclinaison de 0,25%. On place la terre excavée en aval du fossé de dérivation.

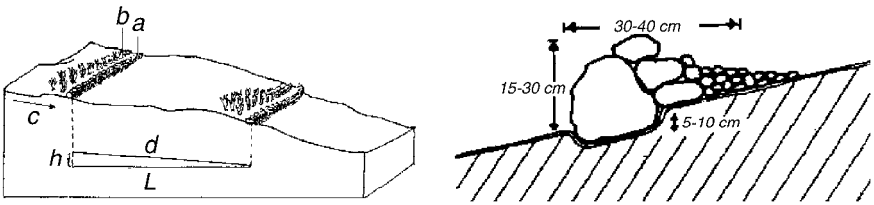
La meilleure solution est d'essayer de réduire le ruissellement superficiel dans la partie supérieure du bassin versant par des mesures antiérosives et par le boisement. La conception d'un système de drainage principal et le développement d'un bassin versant dépassent les limites de ce livret. Pour plus d'informations sur ces sujets, consultez l'Agrodok N° 11 – "La protection des sols contre l'erosion" ou adressez-vous à Agromisa.

5 Techniques de collecte de l'eau – systemes en courbe de niveau

5.1 Diguettes en pierres, barrières vives et lignes de résidus végétaux

Généralités

Les diguettes en pierres le long de la courbe de niveau (Figure 9) sont la variante la plus simple des systèmes de collecte de l'eau en courbe de niveau. Etant perméables, les diguettes ne retiennent pas l'eau de ruissellement, mais ralentissent sa vitesse, la filtrent et la répandent sur le champ cultivé. Par conséquent, elles améliorent l'infiltration et réduisent l'érosion du sol. Le limon retenu sur le côté en amont de la barrière forme peu à peu des terrasses naturelles (Figure10).



A: Vue de dessus *B: Coupe transversale*

a: diguette
b: produit cultivé en face de la diguette
c: direction du ruissellement
h: différence d'altitude entre deux diguettes
d: distance entre deux diguettes au sol
L: distance horizontale entre deux diguettes (h, d, L, en mètre)

Figure 9 : Diguettes en pierres

On renforce les diguettes en pierres avec de la terre ; elles sont alors moins perméables. Quand les pierres sont rares, on les utilise pour faire l'ossature du système. Juste au-dessus des rangées de pierres, on plante de l'herbe ou d'autres végétaux qui formeront après quelque

temps une *barrière vive*. On renforce les rangées de pierres avec des résidus végétaux (tiges de mil et de sorgho, herbe coupée ou branches d'arbre). Dans ce cas, la barrière est appelée *ligne de résidus végétaux*. Ces techniques sont utilisées sur les pentes assez douces (0,5 à 3%). De petites erreurs dans la détermination de la courbe de niveau sont moins graves pour les structures perméables que pour les structures imperméables. Cependant, un alignement qui suit bien la courbe de niveau augmente considérablement l'efficacité de la technique. L'avantage des systèmes à base de pierres est qu'ils n'exigent pas de déversoirs ou de fossé de dérivation pour canaliser l'excès de ruissellement. La construction de diguettes – ou simplement de rangées de pierres – est une technique traditionnelle dans certains pays d'Afrique occidentale sahélienne. Cette technique se révèle efficace et facile à appliquer.

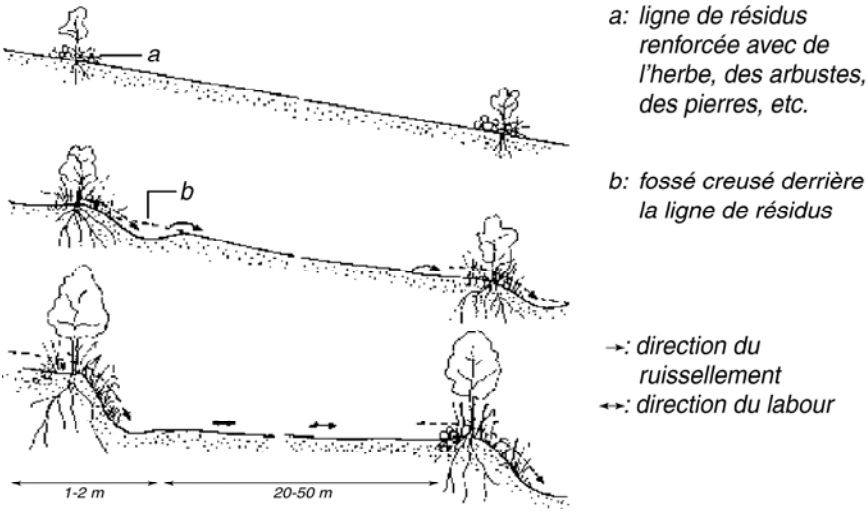

a
b
1-2 m
20-50 m
a: ligne de résidus renforcée avec de l'herbe, des arbustes, des pierres, etc.
b: fossé creusé derrière la ligne de résidus
: direction du ruissellement
: direction du labour

Figure 10 : Lignes de résidus végétaux : le sol entre les lignes de résidus est nivelé avec de la terre du fossé et par labour

La terre emportée par le ruissellement du pied de la diguette supérieure se dépose sur le côté en amont de la diguette inférieure en formant peu à peu une terrasse horizontale qui réduit le ruissellement (voir Figure 10-b). Si une terrasse se forme, on peut relever légère-

ment la diguette inférieure de manière à ce qu'un maximum d'eau soit retenu dans la bande cultivée.

Conditions

Pluie:	200-750 mm
Sol:	Tous les sols propres à l'agriculture. Les diguettes en pierres peuvent être construites sur des champs déjà cultivés, en particulier sur des sols argileux et sur des sols crevassés ou creusés de tunnels. Les lignes de résidus végétaux sont généralement placées sur des sols plus sableux.
Pente:	0,5 à 3%, de préférence inférieure à 2%.
Topographie:	Ne doit pas nécessairement d'être complètement plane.

Contraintes

Des pierres doivent être disponibles localement. Le ramassage et le transport des pierres prennent beaucoup de temps.

Taille et disposition

Les diguettes en pierres suivent plus ou moins la courbe de niveau et coupent à travers champs et pâturages. La distance entre les diguettes est généralement de 10 à 30 m, selon la pente et la quantité de pierres et de main-d'oeuvre disponibles. Si l'objectif est la formation de terrasses naturelles, on fait parfois des diguettes à ailes. Les ailes sont construites à un angle inférieur à 45° de la courbe de niveau. Elles doivent avoir au moins 2 m de longueur. Elles conduisent le ruissellement dans le bassin versant et protègent les diguettes contre la formation de ravines due à excès d'eau. La distance verticale entre deux diguettes en pierre est généralement de 25 cm. Sur la base de l'inclinaison de la pente (s) (Figure 9-A) et de la distance verticale entre deux diguettes (h), on estime la distance au sol (d) entre les diguettes à l'aide de la formule suivante :

$d = (h \times 100)/s$

d = distance au sol entre deux diguettes (en m)

h = hauteur de la diguette (en m)

s = inclinaison de la pente (%)

En réalité, cette formule donne la distance horizontale (L) et non pas la distance au sol (d), mais sur les pentes très douces, d est égal à L.
Par exemple : Si l'inclinaison de la pente (s) est de 2%, la distance au sol (d) entre deux diguettes sera de : (0,25 × 100)/2 = 12,5 m. Pour les pentes de moins de 1%, un espacement de 20 m est recommandé et pour les pentes de 1 à 2%, un espacement de 15. Voir Annexe 2 pour la définition de l'inclinaison de la pente.

Rapport C:CA

La zone cultivée est déterminée pat tâtonnements. Pendant les premières années, on cultive une petite bande de terre en amont des diguettes, et on l'élargit chaque année en remontant la pente.

Conception des billons

Il est conseillé de faire des diguettes d'au moins 25 cm de hauteur et de 30 à 40 cm de largeur d'assise (Figure 9B). On commence par placer de grosses pierres dans un fossé peu profond pour éviter qu'il soit sapé par le ruissellement. On serre soigneusement les pierres, les grosses en aval et les petites en amont. Les petites pierres font fonction de filtre. Si on n'utilise que des grosses pierres, l'eau de ruissellement ne sera pas arrêtée et traversera la diguette.

Construction

1 On détermine l'inclinaison moyenne d'une pente à l'aide par exemple d'un niveau d'eau (Annexe 2) et on choisit l'espacement des diguettes. Si la main-d'oeuvre est un facteur contraignant, on peut commencer par construire une seule diguette en bas du champ et continuer en remontant les années suivantes.
2 On marque les courbes de niveau aux endroits où on fera une diguette (à l'aide d'un niveau d'eau et d'une houe ou de piquets). On ajuste les courbes de niveau pour former une ligne continue.
3 On creuse le long de la courbe de niveau un fossé de 5 à 10 cm de profondeur et de même largeur que l'assise de la diguette, c'est-à-dire de 30 à 40 cm. On place la terre excavée en amont du fossé.
4 Pour la construction des diguettes, voir *"Conception des billons"*.

Entretien

On remet en place les pierres déplacées par les grosses pluies. On bouche les petits trous qui laissent passer le ruissellement avec de petites pierres ou du gravier pour éviter la formation de tunnels à travers la diguette. Après plusieurs saisons, les pierres commencent à s'enfoncer dans le sol si la terre entre les pierres a été emportée, ou si les diguettes s'envasent et deviennent imperméables. Pour éviter cela, on plante en amont des diguettes des bandes d'herbe qui reprendront peu à peu les fonctions des diguettes (voir Partie II).

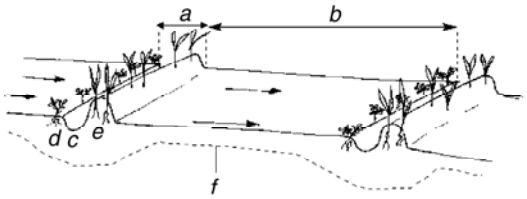
Procédure de plantation

On utilise souvent les diguettes en pierres pour restaurer une terre infertile ou dégradée. Dans ce cas, les diguettes sont souvent combinées à des puits de plantation (Zaï). On met de l'engrais dans les puits pour améliorer la croissance végétale et permettre une meilleure utilisation de l'eau collectée. Un désherbage régulier est indispensable pour éviter que l'eau collectée ne soit utilisée par la "mauvaise " plante. Voir paragraphe sur les puits d'infiltration.

5.2 Billons (sillons) en courbe de niveau

Généralités

Les billons qui suivent la courbe de niveau, appelés aussi sillons en courbe de niveau, sont de petits ados de terre derrière lesquels est creusé un sillon qui collecte le ruissellement provenant d'une bande non cultivée située entre les billons. En Israël et en Amérique du Nord, on les appelle "bandes désertiques". Grâce à leur forme, l'humidité du sol augmente sous le billon et sous le sillon, à proximité des racines des plantes (voir Figure 11). Ce système permet un très bon ruissellement à partir de la courte pente du bassin. Le besoin de main-d'oeuvre est relativement bas et le travail se fait facilement à la main. Cette méthode est donc à la portée des petits paysans.



a: zone cultivée
b: bassin versant
c: sillon
d: produit cultivé au besoin en eau le plus grand
e: produit cultivé au besoin en eau le plus faible
f: profil de l'humidité du sol
→: direction du ruissellement

Figure 11 : Billons et sillons en courbe de niveau

Conditions

Pluie:	350-700 mm
Sol:	Bons résultats sur sols limoneux envasés à limoneux argileux. Moins efficaces sur des sols plus lourds, plus argileux en raison du taux d'infiltration plus bas.
Pente:	Les meilleures pentes sont de 0,5 à 3%.
Topographie:	Doit être plane. Les zones présentant des rigoles ou des dépressions sont moins adaptées à cause de la distribution inégale de l'eau.

Contraintes

Les sillons en courbe de niveau sont seulement utilisés sur les zones de pluviosité relativement élevée, là où la quantité d'eau collectée est petite en raison de la petite superficie du bassin versant.

Taille et disposition

La distance entre les billons dépend de l'inclinaison de la pente et de la superficie désirée du bassin versant (rapport C:CA). Dans l'exemple de la Figure 12 (pente de 0,5%), les billons sont espacés de 1,5 m. De petits billons transversaux sont construits dans les sillons à intervalles réguliers (5 m par exemple) et perpendiculaire-ment aux sillons, pour éviter que l'eau de ruissellement ne s'écoule à travers les sillons (érosion) et qu'elle soit retenue de manière inégale.

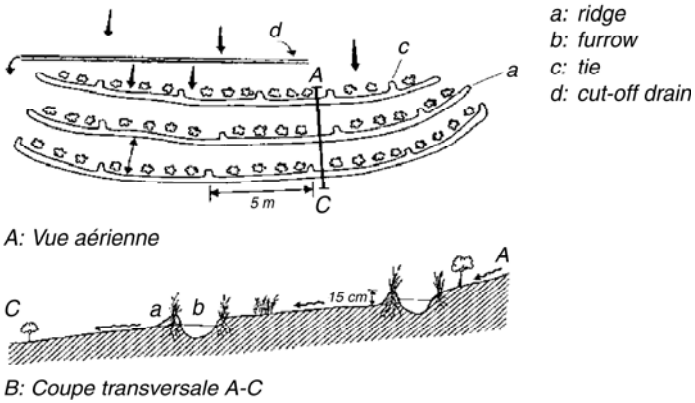


Figure 12 : Billons et sillons en courbe de niveau avec billons transversaux

Rapport C:CA

Si on choisit de faire des sillons, la zone cultivée est difficile à déterminer. La bande cultivée a généralement 0,5 m de largeur ; elle est creusée en son milieu par un sillon ; la distance entre deux billons est de 1,5 m ; le rapport C:CA est de 2:1 (une bande de drainage de 1 m de largeur, une bande cultivée de 0,5 m de large). Pour les plantes annuelles dans les zones semi-arides, on recommande généralement une distance de 12,5 à 20 m (rapport C:CA entre
2:1 et 3:1).

Conception des billons

Les billons doivent seulement être assez hauts pour prévenir l'inondation. Si la distance entre les billons est inférieure à 2 m, une hauteur de 15 à 20 cm suffit. Si les diguettes sont espacées de plus de 2 m, la hauteur du billon doit être plus grande. Ceci est aussi nécessaire dans le cas des pentes plus raides.

Construction

1 On marque les courbes de niveau tous les 10 à 15 m (Annexe 2). On les ajuste pour former une ligne continue.

2 On marque l'espacement des billons avec des piquets ou à la houe. Sur les pentes inégales, les billons (sur les courbes de niveau) se rapprochent à un endroit et s'éloignent à d'autres. On les arrête là où ils se rapprochent trop. Là où ils s'écartent trop, on construit entre eux de nouveaux billons.
3 On creuse les sillons et on place la terre excavée en aval, à côté du sillon, pour former le billon.
4 On construit des billons transversaux en creusant un sillon perpendiculairement au sillon qui suit la courbe de niveau, à des intervalles de 5 m (structure en damier). Les billons transversaux ont 15 à 20 cm de hauteur et 0,50 à 0,75 m de longueur.
5 Pour éviter les risques d'endommagement dus à un ruissellement en amont du système, on construit un fossé de protection (fossé de dérivation) en amont du bloc de billons . Voir chapitre 4.

Entretien

Toute rupture de sillon doit être réparée immédiatement. Le bassin versant doit être régulièrement désherbé pour maximaliser le ruissellement. A la fin de chaque saison, il faut reconstruire les billons à leur hauteur originale. En fonction de la fertilité du sol de la zone cultivée, il est parfois nécessaire, après plusieurs saisons, de redescendre le système de quelques mètres sur la pente, pour disposer d'une terre nouvelle et fertile dans la zone cultivée.

Procédure de plantation

Des céréales (sorgho, mil) sont généralement plantées sur les billons. Vu leur grand besoin d'eau, des légumes (dolique, haricot trépard) sont généralement plantés en amont des sillons (voir Figure 11:
d, et e). Le bassin versant n'est pas cultivé et il est régulièrement désherbé pour maximaliser le ruissellement.

Variantes

Dans les régions plus arides, surtout dans les zones de surpâturage, le système billons-sillons avec billons transversaux (structure en damier) est utilisé pour la régénération du fourrage, des herbes et des arbres locaux résistants. Le projet de reboisement de Baringo au Kenya ap-

plique le système de la manière suivante : Les sillons sont plus larges (environ 80 cm) et des plants d'arbres sont plantés dans des trous de plantation espacés de 1 à 3 m dans les sillons. L'espacement des billons est de 5 à 10 m. Les billons transversaux sont espacés de 10 m.

5.3 Diguettes en courbe de niveau pour les arbres

Généralités

Le système de diguettes en courbe de niveau pour les arbres est très similaire au système de billons en courbe de niveau pour les plantes. (Paragraphe précédent). La différence est que dans le système pour). les arbres, l'eau est collectée dans un puits d'infiltration et non dans un sillon (comme sur la Figure 13).

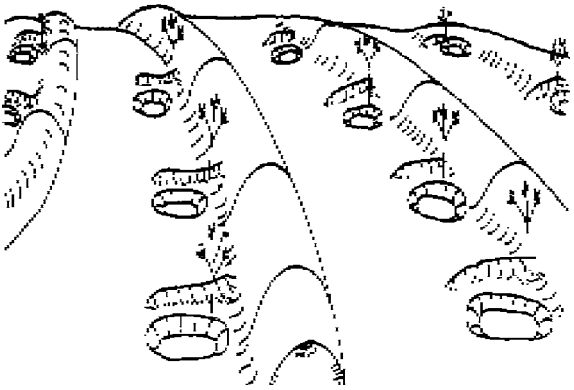


Figure 13 : Diguettes en courbe de niveau pour les arbres

La construction pouvant être mécanisée, la technique convient pour une installation à grande échelle. Tout comme pour les billons en courbe de niveau pour les plantes, l'efficacité des diguettes en courbe de niveau pour les arbres est due en grande mesure à la pente relativement courte du bassin versant.

Conditions

Pluviosité: 200-750 mm. Dans les zones moins pluvieuses, ce système convient mieux que les billons qui suivent la courbe de niveau pour les plantes, car l'eau de ruissellement est concentrée dans une zone cultivée plus petite, à savoir le puits d'infiltration.

Sol: Au moins 1,5 m de profondeur, de préférence 2 m, pour permettre un bon développement des racines et une bonne capacité de rétention de l'eau.

Pente: De presque plat à 5%.

Topographie: Plane, sans rigoles ni dépressions, pour éviter une distribution inégale de l'eau de ruissellement.

Contraintes

Les diguettes en courbe de niveau pour les arbres ne conviennent pas aux terrains irréguliers ou érodés, car l'eau peut se concentrer à certains endroits, ce qui risque d'entraîner la rupture des diguettes.

Taille et disposition

La disposition du système est la même que celle des billons en courbe de niveau pour les plantes (voir Figure 12-A). Les billons sont construits le long de la courbe de niveau avec des billons transversaux qui divisent les bandes en microbassins. Au lieu d'un sillon, un puits d'infiltration est creusé au point de jonction du billon transversal et de la diguette. La taille du puits est généralement de 80 cm × 80 cm et sa profondeur de 40 cm.

Les diguettes sont généralement plus espacées que dans le système pour les plantes, à savoir de 5 à 10 m. Comme cet espacement est plus grand, elles doivent aussi être plus hautes, à savoir de
20 à 40 cm. On recommande un espacement de 10 m pour des pentes allant jusqu'à 0,5%, et un espacement de 5 m pour les pentes plus raides (jusqu'à 5%) Les billons transversaux doivent avoir au moins 2 m de longueur et être espacés de 2 à 10 m. La hauteur des billons transversaux est la même que celles des billons, à savoir de 20 à 40 m. Pour un bassin versant de 25 m^2, les diguettes doivent être espacées de 10 m, avec des billons transversaux tous les 2,5 m. Elles peuvent éga-

lement être espacées de 5 m, avec des billons transversaux tous les 5 m.

Rapport C:CA

La taille du microbassin est généralement de 10 à 50 m^2 pour chaque arbre. L'avantage du système en courbe de niveau pour les arbres (comparé aux systèmes libres) est que l'on peut facilement jouer avec la taille du microbassin en ajoutant ou en enlevant les billons transversaux dans l'espacement entre les diguettes.

Conception des billons

Voir paragraphe précédent: 'Taille et disposition'.

Construction

1 On marque les courbes de niveau tous les 40 à 50 m sur la pente (Annexe 2). On les ajuste pour former une ligne continue.
2 On marque l'espacement des billons.
3 On fait les billons en creusant le sol des deux côtés mais surtout sur le côté en amont du billon. Il est conseillé de bien tasser les diguettes avec le pied ou avec un tonneau rempli de sable.
4 On creuse un puits d'infiltration dans le sillon situé en amont de la diguette.
5 On construit les billons transversaux perpendiculairement aux billons avec la terre excavée du puits de plantation. On tasse les billons transversaux. La distance entre le billon transversal et le puits de plantation est au moins de 30 cm. Le plant sera planté dans cet espace (Figure 14).
6 On construit un fossé de protection en amont du bloc de billons de courbe de niveau pour éviter tout risque d'endommagement dû à un ruissellement externe au système. Voir chapitre 4.

Entretien

Toute rupture de billon doit être réparée immédiatement. Le bassin versant doit régulièrement être désherbé pour maximaliser le ruissellement. A la fin de chaque saison, il faut reconstruire les billons à leur

hauteur originale. On peut laisser pousser l'herbe sur les diguettes. Les racines consolideront les diguettes.

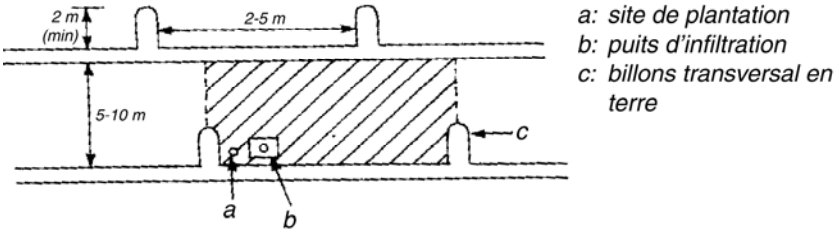


Figure 14 : Diguettes en courbe de niveau: emplacement de l'arbre

Procédure de plantation

Des plants d'arbres d'au moins 30 cm de hauteur sont plantés juste après la collecte du premier ruissellement. Ils sont plantés dans l'espace entre les billons transversaux et le puits d'infiltration. Un second plant est planté dans le puits d'infiltration pour le cas où la pluviosité nominale ne serait pas atteinte. Dans les zones de haute pluviosité, on utilise l'espace entre les diguettes pour la production agricole avant que les arbres ne deviennent productifs. Evidemment, cela réduit la quantité de ruissellement.

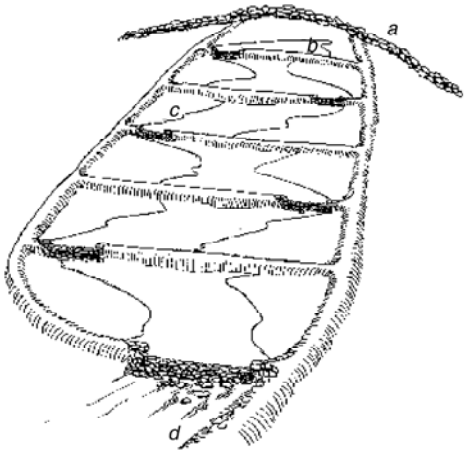
5.4 Diguettes en terre avec déversoirs en pierres

Généralités

Les diguettes en terre avec déversoirs en pierres est une technique qui combine les sillons en courbe de niveau et les diguettes en pierres en courbe de niveau. Les diguettes en terre laisse s'infiltrer l'eau de ruissellement et les déversoirs en pierres empêchent l'excès de ruissellement de déborder par-dessus les diguettes.

Le système décrit dans ce paragraphe est une variante d'un système traditionnel de collecte de l'eau appelé "Meskat" en Tunisie (Figure 15). Il s'agit d'un système de plusieurs diguettes en terre construites le long de la courbe de niveau qui coupe un champ cultivé.Ces diguettes

sont disposées perpendiculairement à la pente la plus abrupte et parallèlement entre elles. Des déversoirs en pierres sont construits dans les diguettes en terre, en alternance à gauche et à droite. Pour empêcher le flot latéral, on construit d'autres diguettes en terre autour des champs cultivés.
L'eau de ruissellement provenant des collines est obligée de s'écouler le long des diguettes avant d'atteindre un déversoir. L'eau descend en zigzag jusqu'au point le plus bas du champ cultivé.



a: diguette de dérivation
b: diguette en terre
c: déversoir en pierres
d: canal d'évacuation de l'excès d'eau

Figure 15 : Système de diguettes en terre avec déversoirs en pierres

Conditions

Le système Meskat est utilisé en Tunisie pour les oliviers sous les conditions suivantes :

Pluviosité:	200-400 mm. Grâce aux déversoirs en pierres, ce système convient aux régions de pluviosité imprévisible et très intense.
Sol:	Sols limoneux profonds.
Pente:	Pente maximale 6%.
Topographie:	Plane: sans rigoles ni dépressions dans le bassin versant.

Contraintes

Dans les zones de pluies intenses, il est conseillé de construire une *diguette de dérivation* (*a* à la Figure 15) ou un fossé de protection sur le coté en amont du champ ; cela pour empêcher que de grandes quantités d'eau provenant du haut de la pente ne s'écoulent dans le champ, ce qui risque d'entraîner des dégâts considérables. Voir chapitre 4. Dans les zones à faible pluviosité, ce genre de précautions n'est pas nécessaire.

Taille et disposition

La distance entre les diguettes dépend de l'inclinaison de la pente. Le sommet d'une diguette doit être à la même hauteur que l'assise de la diguette supérieure (voir Figure 16). Plus la pente est abrupte, plus les diguettes sont rapprochées. Chaque diguette a un ou plusieurs déversoirs à des intervalles de 20 m sur sa longueur.

Rapport C:CA

La distance entre les diguettes est généralement calculée sur la base de l'inclinaison de la pente, de la même manière que pour les diguettes en pierres. La zone cultivée pour les plantes est aussi déterminée par tâtonnements.

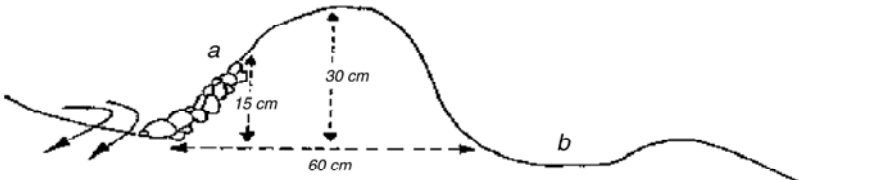
La distance entre deux diguettes est telle que le sommet de l'une (b) est à la même hauteur que l'assise de celle d'en dessous (a). De la terre et de la vase se déposent sur le côté en amont de chaque diguette (c).

Figure 16 : Détermination de la distance entre deux diguettes.

Conception des billons

Les diguettes sont deux fois plus larges que hautes. Dans l'exemple de la Figure 17, la diguette a 30 cm de hauteur et 60 cm de largeur de base. Pour un terrain de 0,1 ha situé sur une pente de 1%, les diguettes

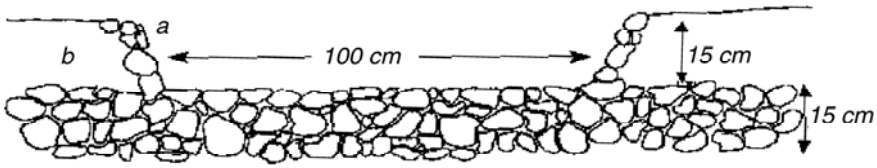
auront 40 cm de hauteur et 0,5 à 1 m de largeur de base. La diguette de dérivation est un peu plus grande que les autres diguettes. Elle est construite en terre et recouverte d'une couche de pierres.



a: pierres protégeant la diguette de l'érosion
b: fossé dont la terre excavée est utilisée pour la construction de la diguette
→: l'eau de ruissellement coule le long de la diguette

Figure 17 : Coupe transversale d'une diguette en terre.

Le déversoir est fait en pierres. Il a généralement 80 cm de largeur de base et 10 à 15 cm de hauteur (voir Figure 18). La longueur des déversoirs varie entre 1 à 2,5 m. Leur longueur totale en mètres pour une diguette en terre est environ égale à la moitié de la partie en amont du bassin versant en hectares. Par exemple, une diguette avec un bassin versant de 8 ha nécessite un déversoir de 4 m de longueur ; une diguette de 50 m de longueur nécessitera soit deux déversoirs de 2 m chacun, soit trois de 1,35 m chacun. Par conséquent, plus les déversoirs sont situés en bas de champ, plus ils sont larges. Il est très important de placer une couche de pierres ou de gravier sur le côté en aval de chaque réservoir pour empêcher l'érosion.



a: pierres protégeant le déversoir contre l'érosion
b: diguettes en terre

Figure 18 : Vue frontale d'un déversoir en pierres.

Construction

1 On détermine l'inclinaison moyenne d'une pente à l'aide par exemple d'un niveau d'eau (Annexe 2) et on calcule l'espacement entre les diguettes.
2 On marque les courbes de niveau aux endroits où on construira une diguette. On ajuste les courbes de niveau pour obtenir une ligne continue.
3 On calcule et on marque la largeur et l'emplacement de chaque déversoir.
4 On construit les diguettes en terre avec la terre prise sur le côté *en aval* et on les recouvre d'une couche de pierres sur le côté *en amont* pour empêcher l'érosion. On prévient aussi l'érosion en plantant des herbes, des plantes pérennes ou des arbustes sur la diguette ou juste en face.
5 On construit les déversoirs en pierres de la même manière que les diguettes en pierres en courbe de niveau.

Entretien

Pour l'entretien des billons, voir paragraphe "billons en courbe de niveau pour les plantes". L'entretien des déversoirs en pierres est le même que pour les diguettes en pierre en courbe de niveau.

6 Techniques de collecte de l'eau – systemes libres

6.1 Puits de plantation ou Zaï

Généralités

Les puits de plantation ou Zaï sont la variante la plus simple des systèmes de collecte de l'eau. Au Burkina Faso et au Mali, on utilise traditionnellement des puits de plantation pour restaurer les sols dégradés. La technique des puits de plantation consiste à creuser des petits trous et d'y placer un peu d'engrais et quelques graines (voir Figure 19). Les puits de plantation collectent le ruissellement et le concentrent autour des plantes. Les rendements s'améliorent dès la première saison qui suit le traitement du sol. Ces techniques assurent des rendements même pendant des années de grande sécheresse.

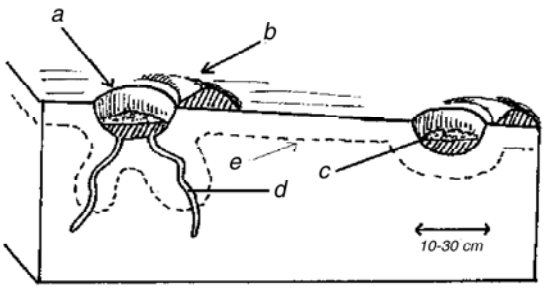
Conditions

Pluviosité:	200-750 mm
Sol:	Les puits de plantation sont particulièrement efficaces pour restaurer les sols pierreux arides et encroûtés et les pentes argileuses, où l'infiltration est limitée et où le labour à la houe difficile. Ces sols durs produisent généralement beaucoup de ruissellement. Le sol ne doit pas nécessairement être profond.
Pente:	Inférieure à 2%.
Topographie:	Ne doit pas nécessairement être plane. Cette technique permet de restaurer un terrain irrégulier et fissuré.

Contraintes

Le creusement des puits de plantation est un travail intensif. Le creusement ne peut pas être mécanisé et l'utilisation de la charrue est impossible sur une terre où sont creusés des Zaï. Les sols peu profonds deviennent encore moins profonds si l'on creuse des Zaï. Dans ce cas, on ne plante pas *dans* le puits, mais plutôt sur le billon de terre excavée afin de maximaliser la profondeur de l'enracinement.

A: Emplacement des puits de plantation dans un champ



a: puits de plantation
b: billon en terre
c: engrais placé dans le puits
d: tunnels de termites
e: profil d'humidité du sol

B: Gros plan d'un puits de plantation

Figure 19 : Puits de plantation ou Zaï.

Taille et disposition

Les dimensions des puits de plantation varient en fonction du type de sol. Ils ont généralement 5 à 15 cm de profondeur et 10 à 30 cm de diamètre (Figure 19-B). La distance entre deux puits varie de 0,5 à 1 m. Le nombre de puits par hectare est généralement entre 10 000 et 25 000. Les puits de plantation peuvent être creusés sur une seule ligne ou, ce qui est plus courant, en rangées décalées suivant les courbes de niveau (voir Figure 19-A).

Rapport C:CA

Le rapport C:CA est généralement estimé. Il varie entre 1:1 et 1:3. Plus les puits sont larges et plus l'espacement est grand, plus la quantité d'eau collectée de la zone non cultivée entre les puits sera grande.

Conception des billons

On fait un billon en plaçant la terre excavée du puits juste en dessus du puits.

Construction

1 Il n'est pas nécessaire de suivre la courbe de niveau. On marque la position des puits à l'aide d'une ficelle de la longueur de l'espacement choisi entre les puits + la moitié du diamètre du puits. Par exemple, pour des puits de 30 cm espacés de 50 cm, la ficelle devra avoir 50 + 25 = 65 cm de longueur. On attache un piquet à chaque extrémité de la ficelle pour assurer un espace-ment constant de 65 cm. On plante un piquet à l'emplacement du premier puits et, avec l'autre, on trace un cercle autour. On plante le premier piquet sur le cercle (= emplacement du deuxième puits) et on trace un nouveau cercle. On creuse les quatrième et cinquième puits au point de rencontre des deux cercles. On marque tous les puits de cette manière.
2 Ensuite on creuse les puits. Pour faire des puits uniformes, on prend deux bâtons, l'un de la longueur du diamètre du puits et l'autre de la longueur de la profondeur choisie. On place la terre excavée juste en aval du puits pour former une petite diguette.

Entretien

La deuxième année, on sème dans les trous ou on creuse de nouveaux puits entre les premiers. Si le but est de restaurer la fertilité de tout le champ, il est conseillé de creuser de nouveaux puits.

Plantation

On creuse les puits pendant la saison sèche. Pendant la saison sèche, les puits retiennent les détritus et le vent apporte du sable fin. On remplit souvent les puits avec de l'engrais (compost, fumier animal, etc.) mélangé à de la terre. Cela attire les termites. En creusant leurs tunnels

dans la terre, les termites transportent des nutriments des couches profondes à la couche supérieure, ce qui améliore la capacité d'infiltration du sol. Après les premières pluies, on sème des céréales (sorgho, mil, etc.) dans les puits. On pratique parfois le semis à sec (voir Chapitre 10). Le désherbage entre les puits n'est pas nécessaire, car la végétation naturelle a peu de chances de repousser sur ces sols dégradés.

Variantes

La technique *Zaï* est souvent combinée à des diguettes en pierres suivant la courbe de niveau. Les pierres ralentissent le ruissellement qui se répand de manière plus régulière sur la surface du sol et s'écoule dans les puits de plantation. Les *Zaï* sont parfois aussi combinés à des diguettes de terre ou à des bandes plantées d'herbe.

6.2 Microbassins fermés

Généralités

Les microbassins fermés sont des bassins carrés ou en forme de losange entourés de *tous* les côtés par de petits billons en terre. Ces billons gardent les eaux de pluie et de ruissellement à l'intérieur du microbassin. Le ruissellement est canalisé vers le point le plus bas et retenu dans un puits d'infiltration.
Les structures sont faciles à construire à la main.

Les Figures 20 et 21 donnent des exemples de microbassins fermés, l'un sur un terrain en pente (Figure 20) et l'autre sur un terrain plat (21). Les microbassins sont surtout utilisés pour les arbres et les buissons en période de croissance. Cette technique convient à la plantation d'arbres à petite échelle dans les zones sèches. Elle conserve aussi le sol. Elle est souvent utilisée en Israël pour les arbres fruitiers. On l'appelle *Negarim*. Comme la technique a fait ses preuves et qu'elle est facile à réaliser, il est conseillé de l'essayer avant d'aborder des techniques plus difficiles.

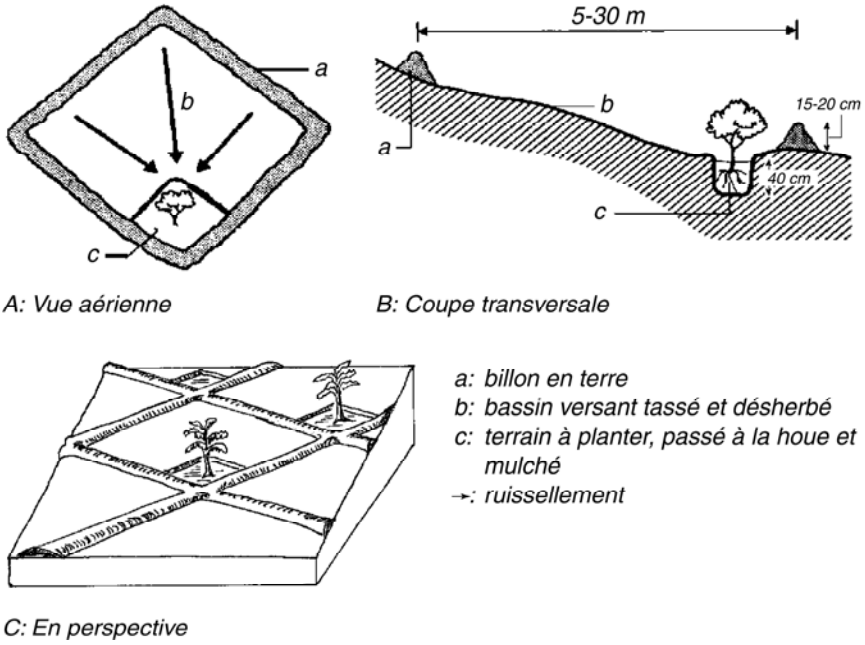
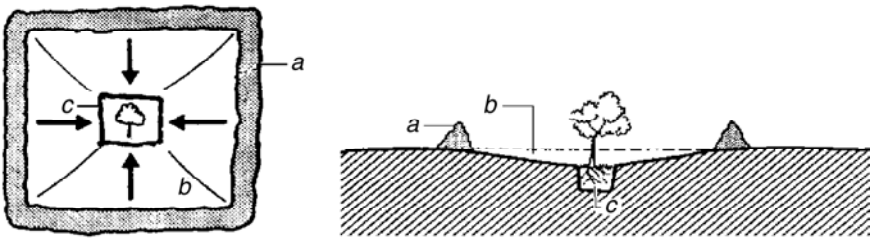


Figure 20 : Microbassin fermé sur terrain en pente.



A: Vue aérienne *B: Coupe transversale*

a: billon en terre
b: bassin versant tassé et désherbé
c: terrain à planter à son point le plus bas, passé à la houe et mulché
→: ruissellement

Figure 21 : Microbassin fermé sur terrain plat.

Conditions

Pluviosité:	150 mm et plus par an.
Sol:	Au moins 1,5 m de profondeur, de préférence 2 m pour permettre un bon développement des racines et une bonne capacité de rétention de l'eau.
Pente:	Jusqu'à 5%, mais on peut construire des petites structures sur les pentes plus raides.
Topographie:	Ne doit pas nécessairement être plane. Les microbassins divisent une pente irrégulière en petites pentes régulières.

Contraintes

Les microbassins sont difficiles à faire à la machine.

Taille et disposition

La taille des microbassins varie généralement de 10 à 100 m^2. Ils peuvent être plus grands, en particulier si on cultive plusieurs arbres dans un seul microbassin.

Sur un sol plat, les microbassins sont plus grands. Généralement, les microbassins ont une superficie de 250 m^2 et le puits de plantation

dans le microbassin mesure 3,5 m × 3,5 m. Le puits de plantation est profond de 40 cm à 1,5 m, selon la profondeur du sol.
Si le ruissellement risque d'endommager le bloc de microbassins, il est conseillé de creuser en amont un fossé de dérivation.

Rapport C:CA

Le rapport C:CA n'est généralement pas calculé pour ce système. Pour décider de la taille du microbassin, on prend en compte la pluviosité moyenne et une estimation des besoins en eau des arbres.

Conception des billons

La hauteur des diguettes en terre dépend de l'inclinaison de la pente et de la taille du microbassin. La hauteur minimum des les pentes jusqu'à 2% est de 25 cm. Le Tableau 8 donne les dimensions recommandées. La diguette a au moins 25 cm de largeur à son sommet et des flancs d'au moins 1:1, ce qui donne des diguettes de 25 cm de hauteur et d'au moins 75 cm de largeur d'assisse. Si possible, on plante de l'herbe sur les diguettes. L'herbe protège bien contre l'érosion.

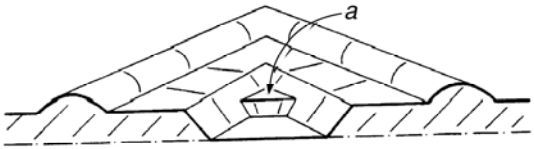
Tableau 8 : Hauteur (en cm) des microbassins.

Taille du bassin(m)	**Inclinaison de la pente**			
	2%	**3%**	**4%**	**5%**
3 × 3	25	25	25	625
4 × 4	25	25	25	30
5 × 5	25	25	30	35
6 × 6	25	25	35	45
8 × 8	25	35	45	55
10 × 10	30	45	55	n.r.
12 × 12	35	50	n.r.	n.r.
15 × 15	45	n.r.	n.r.	n.r.

n.r. = non recommandé

Le puits d'infiltration a 40 cm de profondeur. La terre excavée sert à faire les deux diguettes en aval (on fait les deux diguettes en amont avec la terre excavée du puits d'infiltration en aval). Le puits d'infiltration est carré et sa taille dépend de la quantité de terre nécessaire pour

faire les deux diguettes en aval. Par exemple, un microbassin de 3 m × 3 m nécessite un puits de 1,4 m × 1,4 m
(40 cm de profondeur) ; un microbassin de 10 m × 10 m nécessite un puits de 2,5 m × 2,5 m (40 cm de profondeur). Dans le coin le plus en aval du puits d'infiltration, on laisse une plateau de plantation (Figure 22). C'est là que le plant sera planté.

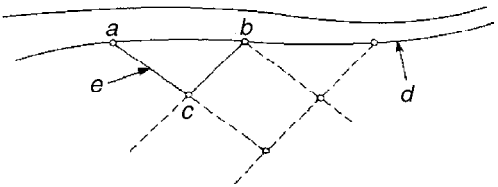


a: emplacement de la plateau de plantation

Figure 22 : Microbassins fermés (Critchley, 1991).

Construction

1 Pour un bloc de microbassins, on cherche d'abord la courbe de niveau la plus en amont à l'aide d'un niveau d'eau. On ajuste la courbe pour obtenir une ligne plus ou moins droite.
2 On mesure la diagonale des microbassins à l'aide d'un mètre à ruban (Figure 23 [a] et [b]) et on la marque le long de la courbe de niveau.
3 On trouve le point [c] à l'aide de deux ficelles de la même longueur que les côtés des microbassins. On tient une ficelle au point [a], l'autre au point [b]. A l'endroit où les ficelles se touchent, on marque le point [c] avec un piquet. Les côtés du microbassin sont marqués à la houe. On répète cette méthode jusqu'à ce que tous les microbassins soient marqués sur la courbe de niveau.



a-b: la diagonale de microbassin
c: l'endroit où les ficelles se touchent
d: courbe de niveau
e: dimension latérale

Figure 23 : Disposition des microbassins (Critchley, 1991).

4 La seconde rangée de microbassins est marquée de la même manière, mais en utilisant le point [c] de la première rangée de microbassins. On marque ensuite la troisième rangée et les suivantes.
5 On marque le puits d'infiltration dans chaque microbassin et on creuse le puits. Voir sous "Conception des billons" et la Fig.22.
6 Avant de construire les diguettes, on enlève toute la végétation du microbassin. On construit les diguettes en deux couches. On place la première couche jusqu'à mi-hauteur de la diguette et on tasse. On place ensuite la deuxième couche et on tasse à nouveau. Pour obtenir des diguettes de même hauteur, on attache les deux bouts d'une ficelle à deux piquets plantés aux extrémités de la diguette et on la tend au-dessus du sol à la hauteur désirée.

Entretien

L'entretien est le même pour toutes les diguettes en terre. Il faut réparer immédiatement tout endommagement et désherber régulièrement le microbassin. On plante de l'herbe sur les diguettes pour les renforcer.

Procédure de plantation

On plante un plant d'arbre d'au moins 30 cm de hauteur sur la plateau de plantation juste après l'écoulement du ruissellement dans le puits d'infiltration. Il est conseillé de planter un deuxième plant dans le fonds du puits, pour le cas où l'année serait très sèche. On applique du fumier ou du compost dans le puits pour améliorer la fertilité et la capacité de rétention de l'eau.

Variantes

Une variante courante est le système de structures libres ouvertes en V ou circulaires (voir Paragraphe suivant). L'avantage d'une diguette ouverte est que l'excès d'eau peut s'écouler à ses extrémités. Cependant, la capacité de rétention est plus bas que dans un système fermé. Les structures libres et ouvertes conviennent surtout aux terrains rocailleux ou pour de petits groupes d'arbres autour les fermes.

6.3 Diguettes semi-circulaires

Généralités

Les diguettes semi-circulaires sont faites en terre. Leurs extrémités sont placées sur la courbe de niveau. Leurs dimensions sont très variables. Leur rayon peut aller de 2 m à 30 m. Les grandes diguettes sont utilisées pour la restauration des pâturages et la production de fourrage ; les petites pour les arbres, les arbustes et les cultures. (Figures 24 et 25).

Ces structures présentent différents avantages : (i) elles sont faciles à construire, (ii) elles économisent du travail car elles permettent un maximum de zone fermée avec un minimum de diguettes (grâce à leur forme en demi-cercle), (iii) et elles conviennent aux terrains irréguliers car elles sont indépendantes.
Quand les diguettes semi-circulaires sont utilisées pour les arbres, un puits d'infiltration permet de collecter l'eau de ruissellement.

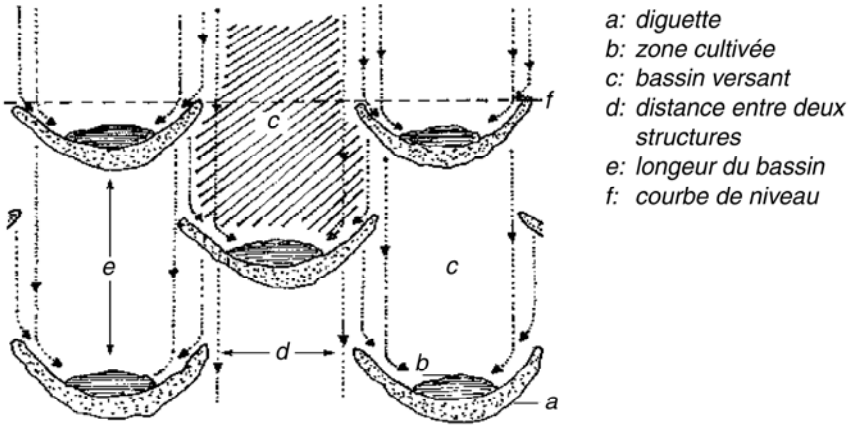


Figure 24 : Disposition des diguettes semi-circulaires

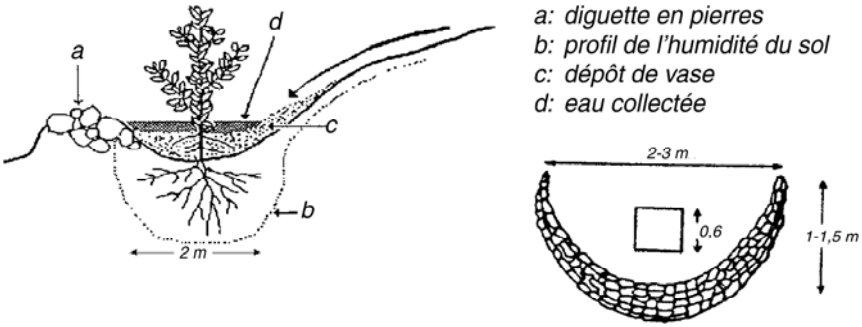


Figure 25 : Petite diguette semi-circulaire coupe transversale et vue aérienne.

Conditions

Pluviosité: 200-750 mm

Sol: Tous les sols propres à l'agriculture. Les arbres ont besoin de sols profonds (1,5 m de profondeur et plus) pour que leurs racines se développent bien.

Pente: De préférence inférieure à 2%, mais éventuellement jusqu'à 5% si on augmente progressivement la hauteur des diguettes.

Topographie: La disposition étalée des diguettes semi-circulaires (Figure 24) nécessite un terrain plat, mais des structures individuelles peuvent être placées sur un terrain irrégulier.

Contraintes

Ces structures ne sont faciles à construire avec des machines à cause de leur forme en demi-cercle.

Taille et disposition

Les structures sont généralement disposées en rayons décalés et leurs extrémités sont placées sur la courbe de niveau. On laisse un espace entre deux structures pour que l'eau de ruissellement puisse couler sur la structure suivante (Figure 24 et 26). Afin de pouvoir traiter les

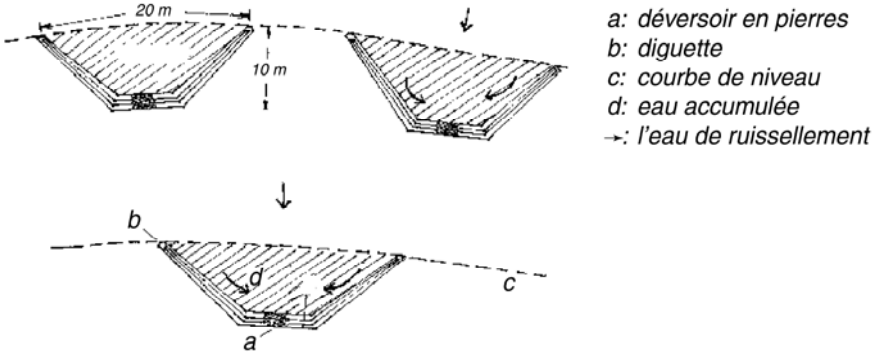
grandes quantités de ruissellement provenant des pentes en amont, dans le cas des structures plus grandes, on pourrait construire des déversoirs en pierres dans les diguettes. Cependant, si l'on peut s'attendre à une grande quantité de ruissellement, les struc-tures doivent être protégées par un fossé de dérivation (Chap.4).

Rapport C:CA

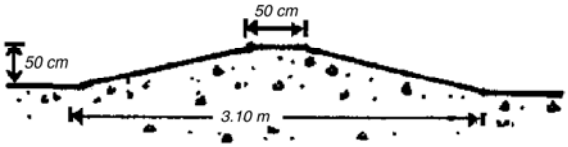
Pour les produits agricoles, le rapport C:CA est calculé à l'aide de la formule donnée au Chapitre 3. Si la diguette est circulaire, la superficie de la zone cultivée (la zone entourée par la diguette) est égale à 0,5 × pi × rayon^2 (1,57 × rayon × rayon). La superficie du bassin versant est la distance [e] de la Figure 24 multiplié par la distance entre les extrémités de la diguette d'une structure.

Pour les arbres, l'eau de ruissellement est collectée dans un puits d'infiltration. La taille totale du microbassin est estimée sur la base des besoins en eau des arbres.

Pour les pâturages et les plantes fourragères, un rapport C:CA de 3:1 est généralement recommandé.



A: Disposition des grandes structures



B: Coupe transversale d'une diguette plus grande (au 'fond' de la diguette)

Figure 26 : Plan d'une structure plus grande semi-circulaire et coupe transversale de la diguette: la forme trapezoïdale est une variation d'une forme semi-circulaire.

Pour concevoir un système :

1 on calcule d'abord le rapport C:CA à l'aide de la formule, ou on l'estime, par exemple 3:1.
2 on choisit la superficie de la zone cultivée, par exemple 10 m^2. Le bassin versant doit être de 30 m^2 pour obtenir un rapport de 3:1.

Les diguettes semi-circulaires pour les produits agricoles à Ourihamiza au Niger ont 2 m de largeur et sont disposées à des intervalles de 4 m. Les rangées sont espacées de 4 m. La densité est donc de 313 structures par ha et le rapport C:CA de 4:1.

Conception des billons

Les diguettes semi-circulaires plus petites (rayon maximum d'environ 6 m) ont une hauteur minimum de 25 cm et une pente latérale de 1:1, c'est-à-dire que leur largeur d'assise est de 75 cm. Pour les structures dont le rayon est supérieur à 6 m, la hauteur des extrémités de la diguette augmente graduellement jusqu'au "fond" de la structure. Par exemple, pour une diguette semi-circulaire d'un rayon de 20 m, les extrémités ont 10 cm de hauteur, et augmentent graduellement pour atteindre 50 cm au "fond" de la diguette. Pour ces diguettes plus grandes, il est conseillé de faire des flancs à pente plus douce, par exemple 3:1. On obtiendra donc une diguette de
10 cm de hauteur et 70 cm de largeur d'assise et une diguette de 50 cm de hauteur et 3,10 m de largueur d'assise.

Construction

1 On marque d'abord les courbes de niveau sur lesquelles on placera l'extrémité des diguettes. La distance entre les courbes de niveau dépend de la dimension des structures qu'un doit construire. Comme les structures sont libres, il n'est pas nécessaire d'ajuster les courbes de niveau.
2 On marque à l'aide d'un mètre à ruban la distance entre les extrémités d'une structure sur la courbe de niveau la plus haute. On mesure et on marque la distance entre une extrémité et la structure voisine (sur la même courbe de niveau), et à nouveau la distance entre les extrémités d'une même structure. De cette manière, on marque les extrémités de toutes les structures sur la première courbe de niveau. On marque les extrémités sur la deuxième courbe de niveau selon la même procédure, mais de manière que le point central de la structure se situe entre les extrémités de deux structures voisines sur la première courbe de niveau. On obtient ainsi une disposition décalée.
3 On marque la position de la diguette de chaque structure à l'aide d'une ficelle. La longueur de la ficelle est égale au rayon de la structure. On marque le point central (le point situé au milieu des extrémités d'une structure sur la courbe de niveau). On tient un bout de la ficelle à ce point et on trace un demi-cercle avec l'autre bout.

4 On prend de la terre à l'intérieur de la zone fermée pour la construction de la diguette. On commence par creuser un petit fossé. On excave ensuite régulièrement de la terre de toute la zone fermée pour permettre une distribution égale de l'eau de ruissellement collectée. On construit la diguette en couches de 10 à 15 cm d'épaisseur. On tasse chaque couche avant de placer la suivante.
5 Pour les grandes structures (rayon supérieur à 6 m), les extrémités des diguettes sont faites en pierres pour lutter contre l'érosion. On plante de l'herbe sur les diguettes pour augmenter leur stabilité.

Entretien

Comme pour les structures en terre, la période critique est celle des premières pluies après la construction. Toute rupture doit être réparée immédiatement. Si les dégâts sont importants, il faut creuser un fossé de dérivation au-dessus du bloc de diguettes semi-circulaires, si cela n'a pas encore été fait. Pour éviter l'érosion des extrémités des diguettes, on les protège avec des pierres. Les structures semi-circulaires doivent être recreusées tous les cinq ans. La vase et la terre qui se déposent autour des arbres doivent être enlevées régulièrement. Le bassin de drainage doit être désherbé.

Procédure de plantation

La zone fermée est entièrement plantée. Les arbres et les arbustes utilisés pour la restauration des pâturages ou du fourrage peuvent être plantés au point le plus bas de la zone cultivée. On procède par tâtonnements.

Variantes

Plusieurs variantes sont possibles, non seulement en fonction de la superficie de la zone cultivée (le rayon de la diguette) et de l'emplacement des structures individuelles, mais aussi en fonction de la forme de la diguette. Les diguettes en V ont déjà été mentionnées dans le paragraphe précédent sur les microbassins fermés. Les diguettes trapézoïdales sont une autre variante possible.

Partie II : Conservation de l'humidite du sol

La Partie II décrit plusieurs techniques de rétention de l'humidité du sol applicables dans la zone cultivée. Le Chapitre 7 décrit plusieurs systèmes en courbe de niveau pour améliorer l'infiltration. Les Chapitres 8 et 9 décrivent des mesures de rétention de l'eau non nécessairement liées aux courbes de niveau.

7 Systemes en courbe de niveau pour ameliorer l'infiltration

La *culture en courbe de niveau* comprend le labour, le billonnage et la plantation le long des courbes de niveau d'un flanc de coteau. L'objectif est d'améliorer l'infiltration de l'eau le long des courbes de niveau et de retenir l'humidité du sol à cet endroit. La culture en courbe de niveau permet de réduire jusqu'à 50% le ruissellement et l'érosion du sol. La première étape de la culture en courbe de niveau est la détermination de la première courbe de niveau. Une méthode pour marquer les courbes de niveau – la méthode du niveau d'eau – est expliquée dans l'Annexe 2. Plusieurs autres méthodes sont décrites dans l'Agrodok N° 6 "Mesures de topographie pour le génie rural".
Toutes les mesures de rétention de l'eau entreprises par la suite dépendront de ces courbes de niveau. On marque les courbes avec des haies, des arbustes ou des pierres. Sur des champs de petite superficie ou sur des pentes régulières, une seule courbe suffit. Cette courbe doit se situer environ à mi-chemin de la pente. Sur des champs de grande superficie ou sur des pentes irrégulières, plusieurs courbes sont nécessaires. Elles doivent être régulièrement réparties sur la pente.

7.1 Labour en courbe de niveau

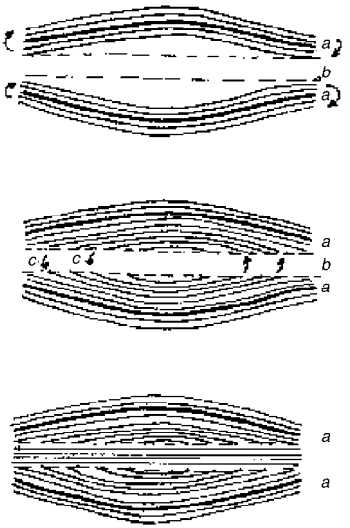
Le labour en courbe de niveau permet aux eaux de pluie et de ruissellement de se répandre régulièrement sur le champ car les sillons sont parallèles aux courbes.

Conditions

Le labour en courbe de niveau est possible sur les pentes dont l'inclinaison est inférieure à 10%. Sur les pentes plus raides, on combine le labour en courbe de niveau à d'autres mesures, comme la construction de terrasses ou la culture en bandes.

Le labour en courbe de niveau est possible sur les champs en pente régulière. Sur les pentes très irrégulières, il prend trop de temps. Dans ce cas, la culture en bandes (voir paragraphe suivant) est souvent plus efficace.

Le labour en courbe de niveau comporte des risques dans les zones où l'eau est trop lentement absorbée par le sol (par ex. sur les sols riches en argile, ayant des couches imperméables ou peu profonds). Les sillons ne doivent pas avoir plus de 100 m de longueur et, s'ils sont en pente, leur inclinaison doit être inférieure à 1%.



a: courbe de niveau
b: espace nécessaire pour tourner
c: sens du tournant

Figure 27 : Comment labourer un champ marqué de plusieurs courbes de niveau.

Procédure

Après avoir tracé une courbe de niveau, on laboure le premier rayon le long de cette courbe. Sur une pente irrégulière ou déjà marquée de plusieurs courbes, le labour suit le schéma donné à la Figure 27 :

- On laboure le long de chaque courbe de niveau, en prenant toujours comme point de référence la courbe voisine.

- Chaque rayon doit être un peu plus court que le précédent. On laisse au milieu une bande rectangulaire pour pouvoir tourner. Le nombre optimal de rayons longs est de 4 à 6 sur les pentes raides, et de 7 à 10 sur des pentes plus douces.
- Pour finir, on laboure en lignes droites l'espace qui sert à tourner.

Il est conseillé de ne pas cultiver les ravines, car le labour favoriserait l'érosion du sol. La construction d'un déversoir est souvent nécessaire pour canaliser l'excès d'eau. Les sillons doivent être tracés légèrement inclinés, par ex. à une inclinaison de 1%, pour que l'eau de ruissellement puisse être collectée dans un drain de débit. Sur des pentes inférieures à 15%, des canaux enherbés suffisent, mais les pentes plus raides nécessitent des structures plus compliquées (par ex. un fossé de rétention et d'écoulement – voir le glossaire).

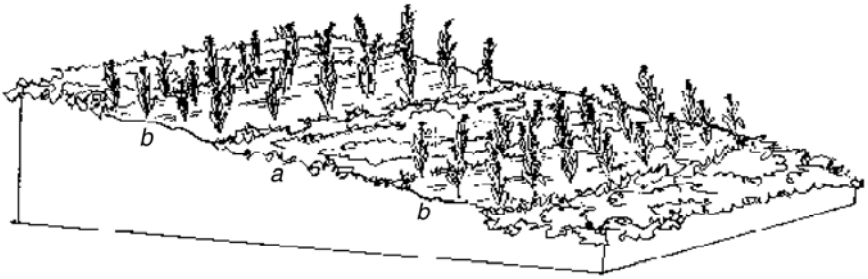
7.2 La culture en bandes

La culture en bandes consiste à cultiver des bandes de différentes espèces végétales le long des courbes de niveau (Figure 28). Généralement, on alterne une plante qui fournit une bonne couverture du sol avec une culture qui fournit une faible couverture du sol. La bande de couverture ralentit le courant de l'eau et empêche l'érosion de la couche arable. L'eau peut alors être utilisée par les cultures (exposées) de la bande suivante. Le paysan gagne du temps en ne labourant que les bandes qui doivent être plantées. La culture en bandes diffère des bandes de végétation. En effet, les bandes de végétation sont plus étroites. De plus, elles sont permanentes alors que dans la culture en bandes on applique souvent la rotation des cultures.

Conditions

La culture en bandes est souvent appliquée sur des pentes qui ne sont pas assez raides pour nécessiter la construction de terrasses. Seule, elle peut être appliquée sur des pentes dont l'inclinaison va jusqu'à 5%. Si l'inclinaison est plus faible, la culture en bandes doit être combinée à d'autres mesures comme le billonnage (transversal) et le mulching.

Sur des sols où l'infiltration est difficile (sols argileux ou encroûtés), le mieux est de combiner la culture en bandes au billonnage.



a: bande "tampon" avec plante fournissant une bonne couverture de sol
b: bande avec plante fournissant une faible couverture de sol et/ou ayant d'autres besoins en nutriments

Figure 28 : La culture en bandes.

Choix des produits cultivés

La réussite de la culture en bandes dépend du choix des produits cultivés. Les plantes doivent se faire le moins possible concurrence pour l'eau et les nutriments. Il est bon de combiner des produits qui fournissent différentes couvertures du sol et qui ont des cycles de croissance différents. Ainsi, leurs besoins en eau ne seront pas aussi urgents en même temps et les récoltes auront lieu à des périodes différentes. On combine généralement l'herbe et les légumineuses, ou les céréales et les légumineuses rampantes (par ex. mil et arachides) (voir Figure 28). La plupart des légumineuses présentent l'avantage de fixer l'azote de l'air, ce qui améliore la fertilité du sol.

Disposition

La largeur des bandes dépend de l'inclinaison de la pente et du taux d'infiltration du sol. Le Tableau 9 donne des directives concernant la largeur des bandes sur des sols assez perméables (par ex. des sols non argileux).

Si on utilise des machines, la largeur des bandes est égale à plusieurs fois la largeur des machines. Sur les pentes irrégulières, les bandes

cultivées sont de largeur constante, les irrégularités de la pente étant rectifiées par les bandes "tampons" (plantées d'herbe, de cultures de couverture, etc.).

Tableau 9 : Culture en bandes: rapport entre la largeur et la pente

Inclinaison de la pente	Largeur de la bande
0-2%	40-50 m
2-4%	30-40 m
> 4%	15-30 m
climats très humides	10-30 m

Entretien

Les bandes plantées d'herbe doivent être régulièrement fauchées. On applique la rotation des bandes cultivées et des bandes plantées d'herbe ou de cultures de couverture pour maintenir la fertilité du sol et lutter contre les ravageurs et les mauvaises herbes.

7.3 Billons et diguettes en damier

Les billons sont de petites diguettes en terre construites le long des courbes de niveau de la pente. L'eau qui s'accumule au-dessus des billons peut ainsi s'infiltrer dans le sol. Au lieu de billons, on peut construire de petits ados en terre.

Conditions

Cette méthode de rétention de l'humidité du sol est utilisée sur des pentes dont l'inclinaison va jusqu'à 7%. La structure des sols doit être relativement stable, sinon les billons risquent d'être sapés et détruits par le ruissellement. Le billonnage nécessite plus de travail et d'investissement financier que la culture en bandes.

Taille et forme

La hauteur des billons est généralement de 20-30 cm. Les billons sont aussi larges que les sillons. L'espacement entre les billons varie de 1,5 à 10 m, en fonction du produit cultivé, de l'inclinaison de la pente et

du climat. Si le billonnage est combiné à la culture en bandes, l'espacement peut être plus grand.
Dans les zones de fortes pluies, les produits cultivés risquent d'être inondés et les billons emportés par l'eau. Pour éviter ce risque, on construit des billons légèrement inclinés par rapport à la courbe de niveau. Ainsi, l'eau peut être dérivée vers un canal de drainage.

Diguettes en damier

Une variante du billonnage est la technique des *sillons cloisonnés* ou *diguettes en damier*. Dans ce système, des petits billons (15 à 20 cm de haut), espacés de plusieurs mètres, sont construits transversalement aux sillons en courbe de niveau en formant des microbassins (Figure 29). En cas de pluie légère, l'eau reste dans les microbassins. En cas de pluie forte, l'eau ruisselle par-dessus les billons transversaux le long de la courbe de niveau, car ces billons sont plus bas que les autres et les sillons sont construits légèrement inclinés par rapport à la courbe de niveau. On évite ainsi que l'excès d'eau ne s'écoule par-dessus les billons. Les billons transversaux réduisent la vitesse du courant de l'eau.

Figure 29 : Diguettes en damier légèrement inclinées par rapport à la courbe de niveau.

Conditions

Les diguettes en damier ne peuvent être utilisées que dans des champs où la pluviosité n'excède pas la capacité de rétention des sillons ; sinon, il y a un risque d'érosion grave. Les diguettes en damier sont plus

efficaces sur les sols à la structure plus grossière (plus sablonneux), moins sensibles aux inondations, par exemple sur les alfisols des tropiques soudano-sahéliens. Les vertisols, sols noirs riches en argile, donnent de meilleurs rendements totaux là où sont appliquées des techniques de planches larges et de sillons (voir paragraphe suivant).

Configuration de la plantation

Les graines ou tubercules sont placées soit près du sommet du billon (pour éviter l'inondation), soit près du fond du bassin là où les pluies et/ou l'humidité du sol sont limitées.
Le choix du site de plantation dépend aussi des besoins en eau du produit cultivé.

Entretien

La construction et l'entretien des billons est un travail difficile, surtout dans des sols lourds (argileux). Pour étaler le travail, on laboure la première année les billons en courbe de niveau avec une charrue à boeufs (voir Annexe 1) ou une machine à lame réversible tirée au tracteur. Les billons transversaux peuvent être faits à la main. Le labour et la construction des billons doivent être répétés seulement une fois tous les quatre ou cinq ans. L'intrant travail est donc finalement assez bas.

7.4 Planches larges et sillons

Le but d'un système de planches larges et sillons est d'augmenter la quantité d'eau qui s'infiltre dans le sol et qui est retenue dans la planche et le sillon. Ce système facilite aussi le labour des sols lourds car il améliore le drainage et augmente la période d'infiltration. En cas de pluie très forte, les sillons (plantés d'herbe) canalisent l'eau de ruissellement car ils descendent en pente douce. Le système de planches larges et sillons présente aussi l'avantage de permettre la culture mixte ou intercalaire.

Conditions

Ce système est surtout utilisé dans les zones de pluviosité intense (moyenne annuelle de 750 mm ou plus) et sur des sols argileux noirs

(vertisols) où l'infiltration de l'eau est très faible. Ces sols sont profonds et ont une grande capacité de rétention de l'eau. Un terrain doit être en pente douce (0,5 à 3%).
Le système ne convient pas aux sols rouges (alfisols), ni aux sols peu profonds.

Taille et forme

Le système de planches larges et sillons consiste en planches de 1 m de largeur, séparés par des sillons d'environ 50 cm de largeur (Figure 30). La largeur des planches et la configuration de la plantation varient selon les machines disponibles. On plante généralement deux à quatre cultures par planche. On peut faire les planches à l'aide d'equipement de billonage à traction animale. La Figure 30 montre un système de planches étroites et sillons et deux variantes de planches larges et sillons.

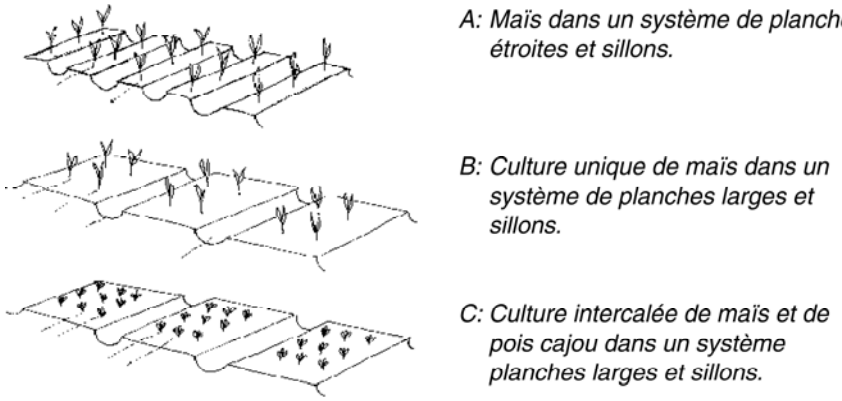

A: Maïs dans un système de planches étroites et sillons.
B: Culture unique de maïs dans un système de planches larges et sillons.
C: Culture intercalée de maïs et de pois cajou dans un système planches larges et sillons.

Figure 30 : Système de planches larges et sillons combinant différentes cultures à des densités de plantation différentes.

Le système de planches larges et sillons permet de combiner différentes cultures à des densités de plantation différentes. On plante dans deux, trois ou quatre rayons, espacés respectivement de 75, 45 ou 30 cm. La Figure 30-A montre un plant de maïs dans un système de billons étroits et sillons (distance de plantation 75 cm). La Figure 30-B

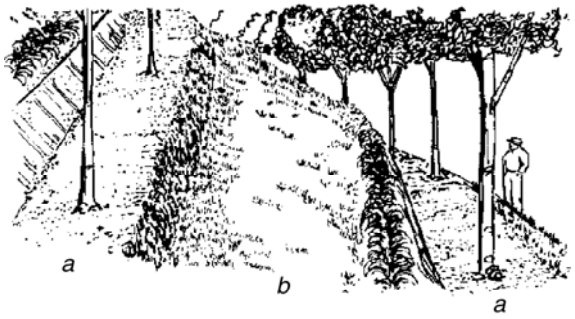
montre une combinaison de maïs et de pois cajou, à une distance de plantation de 45 cm.
Les sillons sont souvent plantés d'herbe pour prévenir l'érosion du sol. Ils descendent à un angle de 0,4 à 0,8% sur leur longueur, selon l'inclinaison de la pente.

8 Mesures pour ameliorer l'infiltration et la retention de l'eau

On améliore l'infiltration de l'eau dans un sol en ameublissant la structure du sol et en rendant la couche superficielle plus irrégulière. On peut y arriver en plantant des cultures de couverture ou par mulching et en labourant. Ces mesures sont décrites ci-dessous.

8.1 Les cultures de couverture

Les cultures de couverture sont généralement des légumineuses rampantes. Elles recouvrent la surface du sol entre les plants très espacés d'une culture pérenne (jeunes arbres fruitiers, caféier, cacaoyer et palmier à huile). Les cultures de couverture sont souvent combinées au mulching. L'herbe sert souvent de couverture végétale entre les petites terrasses plantées d'arbres fruitiers, en alternance avec des bandes incultivées (Figure 31).



a: terrasse plantée d'arbres fruitiers
b: terrasse plantée d'herbe

Figure 31 : Utilisation des cultures de couverture sur les terrasses.

Les cultures de couverture protègent le sol contre l'impact des gouttes de pluie et contre un ensoleillement trop intense. Elles augmentent le taux des matières organiques présentes dans le sol, améliorent la struc-

ture du sol et augmentent parfois la fertilité du sol par fixation de l'azote de l'air. Elles empêchent aussi la croissance des mauvaises herbes.

Conditions

Les cultures de couverture conviennent mal dans les zones où la pluviosité annuelle moyenne est inférieure à 500 mm, car elles risquent d'entrer en concurrence pour l'eau avec la culture principale. Dans ces zones, on peut laisser pousser les mauvaises herbes, à condition qu'elles n'envahissent pas la culture principale.
Les légumineuses sont très sensibles aux maladies et doivent être souvent fertilisées au phosphore.

Disposition

Les cultures de couverture recouvrent toute la surface du sol entre les arbres fruitiers (couverture complète), ou bien sont cultivées en bandes entre les rangées d'arbres (couverture en bandes). La couverture en bandes convient mieux aux jeunes arbres. La Figure 32 donne des exemples de couverture complète et de couverture en bandes, toutes deux combinées au mulching.

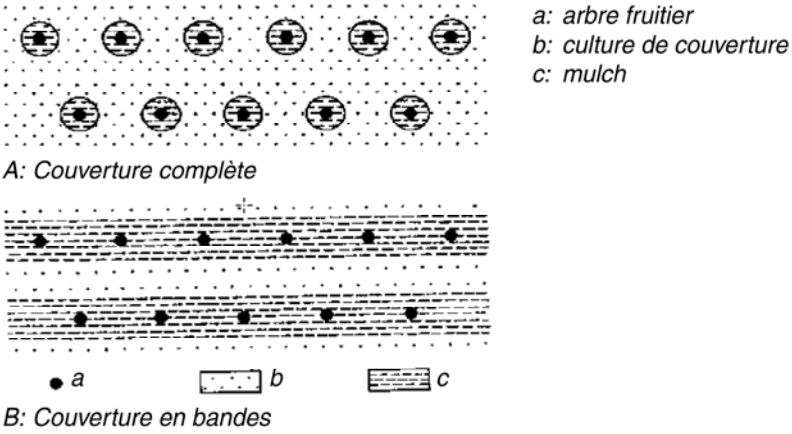


Figure 32 : Combinaison de cultures de couverture et de mulching

Critères de sélection d'une culture de couverture

1 Se propage facilement par graines
2 Pousse rapidement sans entrer en concurrence avec la culture principale
3 Tolère l'ombre et le fauchage autour d'elle
4 N'abrite pas les ravageurs de la culture principale. Pour limiter ce risque, on choisit des cultures de différentes espèces.
5 Empêche la croissance des mauvaises herbes.
6 A d'autres fonctions productives comme l'alimentation humaine (par ex. arachides, haricots), l'alimentation animale, le mulch, etc.

Certaines cultures de couverture résistent à la sécheresse (par ex. *Centrosema pubescens, Pueraria phaseoloides, Stylosanthes gracilis*). Certaines légumineuses sont des pesticides efficaces (par ex. *Tephrosia candida*).

8.2 Mulching

Le mulching (ou paillage) consiste à recouvrir le sol entre les rangées de cultures ou autour des arbres avec de l'herbe coupée, de la paille, des résidus végétaux, etc. On peut également utiliser les résidus végétaux restés sur et dans le sol après la récolte. C'est ce qu'on appelle *mulching de chaumes*.

Etant plus inégale que la surface du sol, la couche de mulch prévient le ruissellement. Cette couche protège le sol contre l'érosion due à l'impact des gouttes de pluie et empêche l'encroûtement. Le mulching réduit l'évaporation en entravant la montée de l'humidité du sol. De plus, il garde la température du sol à un niveau constant, ce qui permet une meilleure survie des micro-organismes pendant la période de sécheresse. Finalement, il freine la croissance des mauvaises herbes. Les cultures à racines superficielles tirent particulièrement profit du mulching car leurs racines se trouvent dans la couche partiellement décomposée située entre le sol et le mulch.

Conditions

Les sols doivent être faciles à drainer. Dans les zones de faible pluviosité, le sol réagit souvent mieux au mulching avec des matières organiques mortes qu'aux cultures de couverture, car le mulch n'entre pas en concurrence pour l'eau et les nutriments.

Disposition

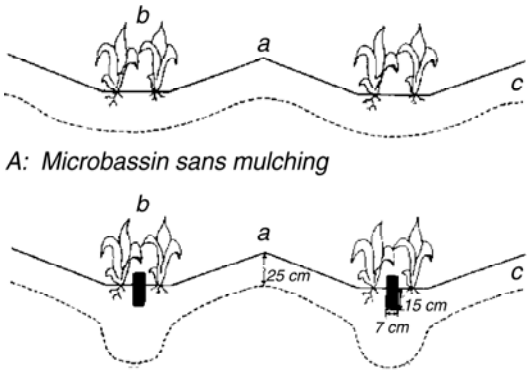
On peut mulcher en étalant des matières végétales sur et autour des trous de plantation ou semis. Cette méthode convient bien aux arbres et aux cultures qui exigent un arrosage pendant la saison sèche. Au Sénégal, le mulching des trous de plantation réduit les besoins en arrosage des tomates. On n'arrose plus chaque jour, mais tous les trois jours. Le mulch peut aussi être appliqué sur les bandes (Figure 32). Le mulching d'une rangée sur deux est parfois préférable au mulching complet, car cela limite les dangers d'incendie. La couche de mulch ne doit pas être trop épaisse si l'on veut éviter l'échauffement du sol.

On utilise souvent un mélange de matières à décomposition rapide et à décomposition lente. Les résidus végétaux de grande taille doivent être coupés ou cassés avant d'être appliqués. Les cultures de couverture et l'herbe des vergers fournissent un matériel de mulching facilement disponible. Si on laisse sécher l'herbe destinée au mulching, on ne réduit pas seulement la charge à transporter mais aussi les risques de pourrissement de l'herbe.

On peut recouvrir le mulch d'une couche de terre pour le protéger contre le vent. Pendant les semailles ou la plantation, on relève le mulch d'un côté et on recouvre ensuite le trou de plantation.

Combinée à des microbassins ou à des diguettes en damier, cette méthode est appelée *mulching vertical*.

On enfouit de la paille ou des chaumes dans un fossé étroit creusé dans la couche arable du sol à l'endroit où l'eau est concentrée et en contact avec l'air (voir Figure 33). Les rigoles à ciel ouvert permettent la canalisation rapide de l'eau dans le sol. Le labour doit être évité.



a: bassin versant
b: zone cultivée
c: profil de l'humidité du sol
d: matériel de mulch enfoui dans la couche arable du sol, en contact avec l'air

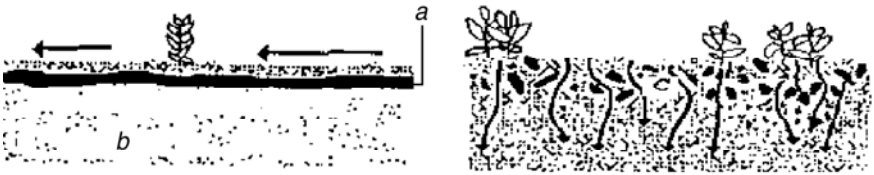
Figure 33 : Mulching vertical.

Contraintes

- Le mulching exige une grande quantité de résidus végétaux, dont les petits paysans des zones sèches ne disposent pas toujours. Le mulch est le plus efficace s'il est appliqué au début des pluies, car il intercepte l'eau et augmente sa rétention. Cependant, le mulching en fin de saison des pluies est souvent plus pratique car on dispose alors de davantage d'herbe. Par ailleurs, le mulch organique se décompose rapidement sous les climats très chauds.
- La constance de la température et de l'humidité du sol permet la survie des maladies et des ravageurs d'une saison des pluies à l'autre.
- Le mulching à base d'herbes sèches peut provoquer des incendies. On réduit ce risque en enfouissant le mulch dans le sol, en mulchant une rangée sur deux ou en faisant petits sentiers autour du champ.
- Dans certains pays, on brûle les résidus végétaux juste avant le début de la saison des pluies. Cela libère une grande quantité de nutriments qui seront disponibles en une fois pour la culture suivante. Les restes de culture utilisés pour le mulching libèrent plus lentement leurs nutriments. On doit donc appliquer davantage de fumier ou d'engrais.

8.3 Labour

L'effet du labour sur la conservation de l'humidité du sol est l'objet de nombreuses discussions. Le labour du sol favorise l'infiltration de l'eau et la pénétration des racines car il détache la terre en mottes. Cependant, cela n'est valable que pour les sols stables. Si le sol est peu stable, les mottes disparaîtront rapidement sous l'effet de la pluie.



A: Sol encroûté en surface brisé à la houe.

B: Sol compact en profondeur brisé par sous.

a: couche de terre compacte
b: sol sec
c: croûte ou couche compacte brisée
d: l'eau s'accumule ici

Figure 34 : Comment briser les couches de terre compacte.

Le labour est nécessaire sur des sols très dégradés ou qui durcissent fortement pendant la saison sèche. Le labour en profondeur (le sol est remué à plus de 10 cm) s'est avéré bénéfique pour les sols sableux denses au Botswana. Cependant, la culture répétée à une même profondeur risque de provoquer la formation d'une couche de terre compacte en dessous de la couche labourée (semelle de labour). Les racines des plantes ne peuvent pas pénétrer dans cette couche et la capacité de rétention de l'eau du sol est réduite.

Si la couche de terre compacte se situe à plusieurs dizaines de centimètres en dessous de la surface, le sous solage est nécessaire pour augmenter l'infiltration (Figure 34-B).
Certains sols s'encroûtent en surface sous l'effet de la pluie, en particulier les sols argileux et limoneux. Cela entraîne une baisse du taux d'infiltration et une hausse du taux de ruissellement. Si les pores du sol sont bouchés sur une épaisseur de plusieurs millimètres ou centimètres, il suffit de passer superficiellement la houe ou la charrue pour briser la croûte et permettre l'infiltration de l'eau. (Figure 34-A).

Contraintes du labour

- Favorise l'érosion du sol et accélère la décomposition des matières organiques présentes dans le sol
- Laisse s'échapper davantage d'humidité par évaporation

8.4 Labour minimum et labour zéro

Dans certains cas, il est préférable de limiter le labour au minimum (*labour minimum*). Pour cela, on laisse les chaumes sur le champ après la récolte et on laboure seulement juste avant de planter ou de semer la culture suivante. Il est possible aussi de ne pas labourer du tout, mais de faire seulement des trous pour planter la culture suivante (*labour zéro*). Ces deux méthodes freinent le ruissellement et empêchent les particules du sol de former une croûte. De plus, elles sont économiques du point de vue travail, augmentent la quantité de matières organiques dans le sol et préviennent l'érosion.

Conditions

Les sols ne doivent pas être sensibles au tassement ou à l'encroûtement. Ils doivent être bien drainés (c'est-à-dire pas trop argileux), avoir une grande activité biologique, une consistance friable et une surface inégale.

Contraintes

- La végétation existante peut entrer en concurrence avec les cultures pour l'eau et les nutriments.
- Ces systèmes entraînent souvent un problème de mauvaises herbes.
- Des insectes peuvent se développer dans les résidus végétaux.

9 Reduction de l'évaporation et l'utilisation optimale de l'humidité du sol

9.1 Brise-vents

Les brise-vents sont des structures non vives (menu bois et palissades en feuilles de palmier tissées) ou des haies vives (rangées d'arbustes, d'arbres ou de hautes herbes). Ils réduisent la vitesse du ruissellement. Dans le cas des haies vives, les feuilles augmentent la quantité de matières organiques dans le sol et les racines améliorent l'infiltration de l'eau en se frayant un passage dans le sol. Dans les zones exposées au vent, les brise-vents protègent les cultures et *réduisent l'évaporation* de l'humidité du sol en empêchant le courant d'air au ras du sol. Les brise-vents et les haies vives sont efficaces sur les pentes et sur les champs exposés à un vent fort.

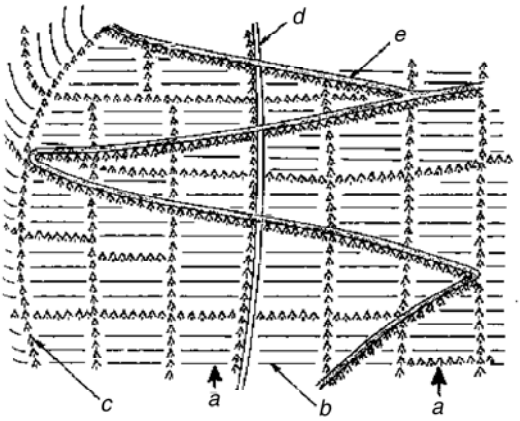
Emplacement

Les brise-vents doivent être plantés perpendiculairement aux vents les plus néfastes (voir Figure 35). Les brise-vents plantés à flanc de coteau doivent suivre les courbes de niveau.

Procédure de plantation

Les deux exemples donnés sont *Acacia spp.* et le *napier*:

- *Acacia spp.* est cultivé à partir de graines ou de semis. Les graines sont semées en bandes ou en buttes. Elles sont espacées de 0,5 à 1 m dans chaque rangée, les rangées étant espacées de 1 m.
- Le *napier* est planté par boutures, sur des buttes espacées de 20 à 30 cm. Les rangées sont espacées de 30 à 50 cm. Au moment d'installer un brise-vent formé d'arbres, on plante des bandes d'herbe ou de broussailles du côté du vent pour protéger les semis. Ces bandes serviront de brise-vents provisoires jusqu'à ce que les arbres aient atteint leur taille adulte. Une fois que les arbres ont atteint leur taille adulte, on peut garder l'herbe comme couverture du sol.



a: direction du vent le plus néfaste
b: terres cultivées
c: brise-vent
d: canal de drainage
e: chemin

Figure 35 : Emplacement des brise-vents (vue aérienne).

Espèces convenant aux brise-vents

Les espèces à racines profondes conviennent à l'installation de brise-vents, car elles n'entrent pas en concurrence pour l'humidité avec des cultures voisines. On évite d'utiliser des espèces dont le niveau naturel d'évapotranspiration est élevé (eucalyptus). Le neem, Acacia spp. et Prosopis fournissent un bon brise-vent après quatre ou cinq ans. Le napier est une herbe couramment utilisée comme brise-vent.

Entretien

Les haies vives doivent être régulièrement taillées pour qu'elles puissent s'épaissir à leur base. Les branches élaguées peuvent être utilisées pour le mulching ou pour l'alimentation animale. On stimule la croissance en profondeur des racines des arbustes et des arbres par un élaguage régulier. Pour réduire la concurrence au niveau des racines, on creuse un fossé entre eux pour obliger les racines de l'arbuste à s'enfoncer davantage (voir Figure 36).

Contraintes

- Les haies vives doivent être protégées pendant environ trois ans contre les animaux et les humains.

- Certaines espèces (par ex. Euphorbia balsimifera) fournissent un abri aux rongeurs et aux serpents.
- Les maladies et les ravageurs de la culture peuvent survivre dans les haies vives après sa récolte.
- Les brise-vents doivent toutefois laisser passer un peu de vent, sinon des tourbillons dangereux risquent de se former sur le coté sous le vent.

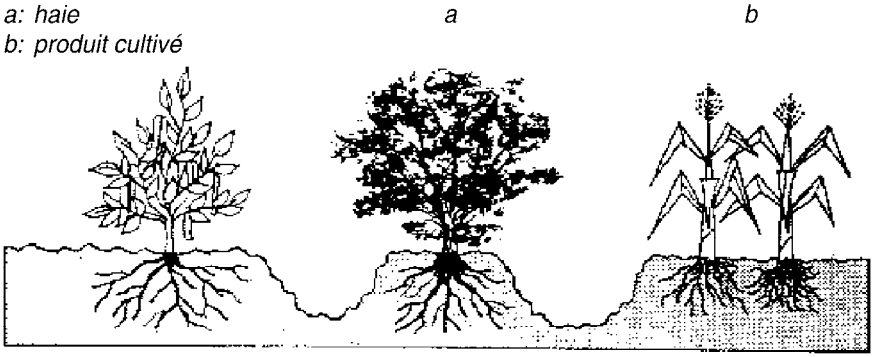
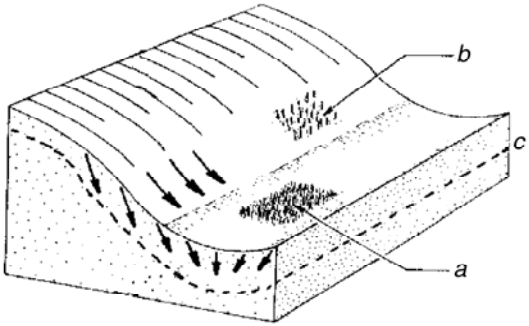


Figure 36 : Un fossé pour éviter l'interférence des racines.

9.2 Semis à sec et semis à basse densité

Semer à sec signifie semer avant les pluies saisonnières et peu sûres. Cette méthode très répandue permet d'utiliser au maximum l'humidité disponible. Elle peut même être nécessaire sur des sols humides difficiles à labourer. Elle comporte un risque de germination précoce avant qu'il ne tombe suffisamment de pluie.
Semer à basse densité signifie que la densité de plantation ou de semis est adaptée à la quantité d'eau disponible à un certain endroit. Cette méthode optimalise l'utilisation de l'humidité du sol en donnant à chaque plante suffisamment d'espace pour étaler ses racines et puiser l'humidité. Les paysans marocains utilisent traditionnellement ce principe. A la Figure 37, la culture dans le sillon ou la dépression est plantée à une densité plus forte que celle plantée sur le billon ou la terrasse.



a : culture plantée à une densité de : 90-120 plantes/m²
b : culture plantée à une densité de : 70-90 plantes/m²
c: profil de l'humidité du sol

Figure 37 : Densité de plantation adaptée à l'humidité disponible

9.3 Jachère

Laisser un sol en jachère signifie laisser une terre inculte pendant une saison ou pendant une ou plusieurs années. Il faut retirer les mauvaises herbes. La période de jachère restaure la disponibilité de l'eau dans la zone des racines, ainsi que la fertilité du sol. La couche superficielle se dessèche, mais l'humidité souterraine est conservée. La prochaine culture disposera donc de davantage d'eau.

Conditions

La jachère est une méthode qui convient bien dans certaines zones semi-arides, mais pas dans toutes. Elle est particulièrement utile sur les sols argileux fissurés. Dans les zones où les pluies dépassent 500 mm, l'utilité de la jachère est mise en doute, car les sols ne peuvent pas retenir beaucoup d'eau dans la zone des racines.

Procédure

La jachère fait souvent partie d'un schème de rotation. Des périodes de jachère peuvent être incorporées dans un système de séquences de cultures à cycles de croissance court et long. Pour améliorer les terres en jachère, on plante des arbustes légumineux qui fixent l'azote de l'air (par ex. *Stylosanthes*) et certains arbres comme *Acacia senegal*

(gomme arabique) en alternance avec des cultures périodiques comme le mil, le sorgho ou les légumes à gousses.

Contraintes

Le risque d'érosion du sol est plus grand sur les terres en jachère, en particulier sur les pentes et dans les zones de pluies violentes. Il est donc conseillé de mulcher la terre laissée en jachère.

9.4 Culture relais et culture intercalaire

La *culture relais* consiste à planter ou à semer une nouvelle culture avant la récolte de la précédente. Cela présente des avantages pour les deux cultures, car l'une d'elles peut par exemple fournir l'azote, l'ombre, un support ou faire fuir les ravageurs. Il faut soigneusement choisir les combinaisons appropriées. Par exemple, certaines cultures sont sensibles à l'ombre pendant les premiers stades de croissance.

Culture intercalaire

La culture intercalaire ou culture mixte consiste à cultiver simultanément plusieurs cultures. La culture intercalaire est intéressante car les produits cultivés ont des caractéristiques différentes. Par exemple, on combine un produit qui donne des rendements élevés et un autre qui donne des rendements plus bas mais qui résiste mieux à la sécheresse (ou à certaines maladies ou ravageurs). Le second fournira une récolte même si les pluies sont rares.
Les produits agricoles peuvent aussi être intercalés avec des plantes pérennes comme les arbres, les arbustes et l'herbe. Pour plus d'informations consultez l'Agrodok n°16 : 'L'agroforesterie'.

La culture intercalaire présente plusieurs avantages, en particulier pour les petits paysans:

- les risques agricoles sont moins grands.
- l'échec d'une culture est compensé par la réussite d'une autre.
- le sol est moins sensible à l'érosion car il est presque continuellement couvert, en particulier si on utilise des plantes pérennes.
- les légumineuses font augmenter le taux d'azote dans le sol.

- Les espèces à racines profondes puisent les nutriments et les mettent à la disposition des espèces aux racines moins profondes quand leurs feuilles tombent ou si leurs résidus sont appliqués en mulch.
- elle étale les besoins en travail pour la plantation et la récolte.
- les rendements sont plus élevés par zone d'unité car le taux de croissance est plus élevé, les pertes dues aux maladies, aux insectes et aux mauvaises herbes sont moindres et l'utilisation de l'eau, de la lumière et des nutriments est plus efficace.

Contraintes

- Dans les zones semi-arides, la fixation de l'azote de l'air par les arbres ou les arbustes légumineux est faible. De plus, les racines se développent horizontalement et non pas verticalement aux endroits où seule la couche superficielle est mouillée par la pluie.
- L'étalement d'une culture est difficile.
- La récolte mécanique est impossible.
- Le labour est difficile. On résout ce problème par la culture intercalaire en rangées.

9.5 Exemple d'un système intégré en courbe de niveau

Le Centre baptiste de vie rurale de Mindanao aux Philippines a développé un système de culture en courbe de niveau appelé 'Sloping Agricultural Land Technologie' (**SALT**). Cette méthode permet de transformer une terre en pente érodée en une terre productive. Le SALT combine les différentes mesures et techniques de rétention de l'humidité du sol décrites dans les paragraphes précédents. Il permet aux paysans de presque tripler leur revenu annuel en cinq ans seulement. Ce système convient parfaitement aux petits paysans qui cultivent à la fois des cultures vivrières annuelles et des plantes pérennes. Il suit les étapes suivantes, illustrées à la Figure 38:

1 On localise les courbes de niveau et on laboure le sol le long des courbes, à 4-6 m de distance sur les pentes raides et à 7-10 m sur les pentes douces.

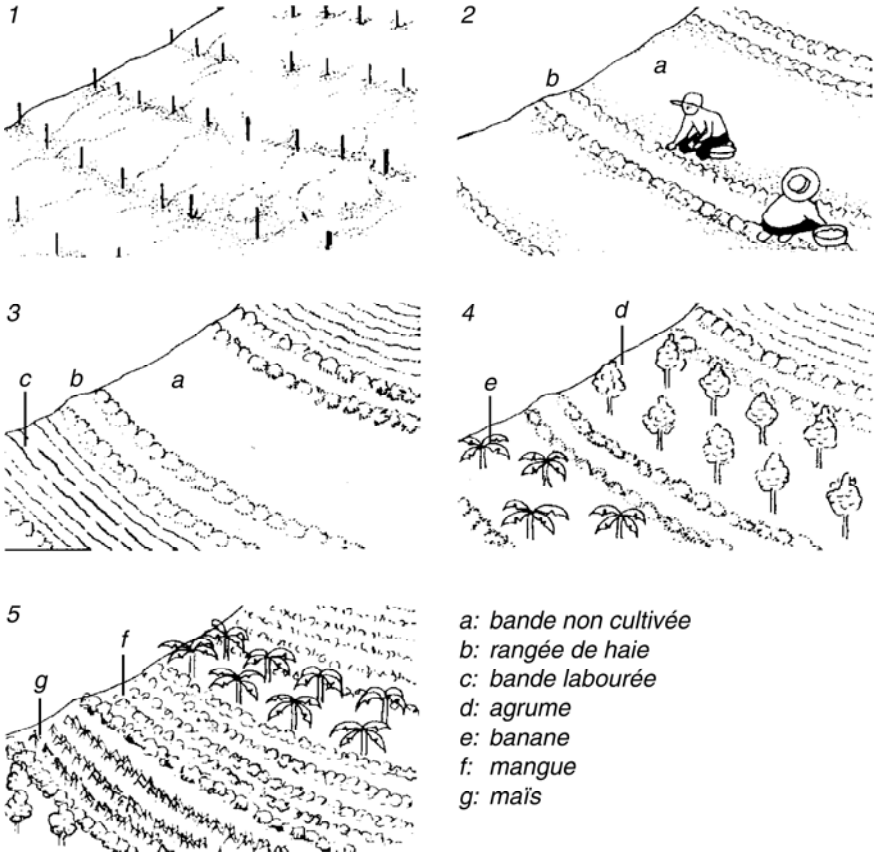


Figure 38 : Agriculture en courbe de niveau selon le SALT

2 On plante des arbustes qui fixent l'azote et des arbres fourragers en double rangée dans deux sillons espacés de 50 cm le long de chaque courbe de niveau.

3 On cultive des bandes alternées entre les rangées jusqu'à ce qu'elles aient atteint leur taille adulte (après quoi, on cultive chaque bande).

4 On cultive et on plante des cultures pérennes (café, cacaotier, agrumes) toutes les trois ou quatre bandes.

5 On plante des cultures à court et à moyen terme (maïs, mangue, sorgho, riz, ananas, patate douce) entre les bandes de cultures pérennes. Elles serviront à l'alimentation et fourniront un revenu régulier.

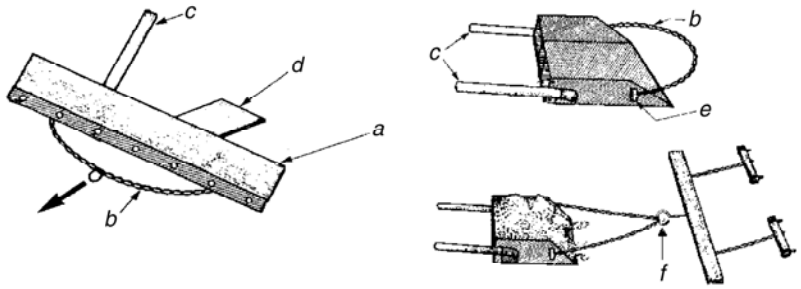
6 On taille les haies à 1 m au dessus du sol et on utilise les résidus d'élagage en engrais organique.

7 On applique la rotation des cultures aux plantes annuelles pour maintenir la productivité, la fertilité et une bonne formation du sol.

8 On construit des terrasses vertes en entassant des tiges, des feuilles et des pierres au pied des haies pour retenir et enrichir le sol.

Annexe 1 : Equipement de billonnage à traction animale

Une charrue à versoir retourne le sol en enterrant les herbes et les résidus restés à la surface. Le modèle standard est conçu pour tourner le sillon vers la droite. Dans les petites zones et aux endroits où une surface nivelée est importante, il est plus pratique d'utiliser une charrue réversible ayant un versoir à main droite et un versoir à main gauche ou un versoir réversible.



A: Planche niveleuse

B: Pelle "boeufdozer"

a: barre ou planche avec bande métallique attachée avec des boulons
b: chaîne pour l'attacher aux animaux
c: poignée
d: berceau
e: pelle faite avec un vieux bidon d'huile, du bois et des boulons pour tenir la chaîne et une lame coupante devant
f: palonnier

Figure 39 : Equipement pour le nivellement et pour la construction de diguettes

Là où il faut un seul billon, on peut utiliser un butteur pour remuer le sol vers le centre en formant un billon ou une diguette. A Turkana au Kenya, on utilise des barres ou planches niveleuses pour le nivellement et des pelles "boeufdozer" (à main) pour la construction des diguettes (voir Figure 39). La traction animale permet de bien tasser les diguettes.

Annexe 2 : Mesures de l'altitude et marquage des courbes de niveau

Il existe plusieurs méthodes pour marquer les courbes de niveau et pour mesurer les différences d'altitude. Ces méthodes sont décrites en détail dans l'Agrodok n°6 "Mesures de topographie pour le génie rural". Le niveau de répère est un instrument généralement utilisé dans l'est de l'Afrique. Le niveau d'eau est utilisé en Afrique occidentale pour les systèmes de collecte de l'eau. L'utilisation du niveau d'eau est décrite ici, car c'est un instrument bon marché et facile à manipuler.

Pour tirer le meilleur profit du niveau d'eau, il faut observer les règles suivantes :

1 Travaillez quand il fait frais. La chaleur provoque l'extension des tubes.
2 Remplacez l'eau renversée ou évaporée, sinon l'instrument perd de sa précision.
3 Tenez les bâtons bien verticalement
4 Ne placez pas les bâtons dans les creux ou les bosses d'un champ.

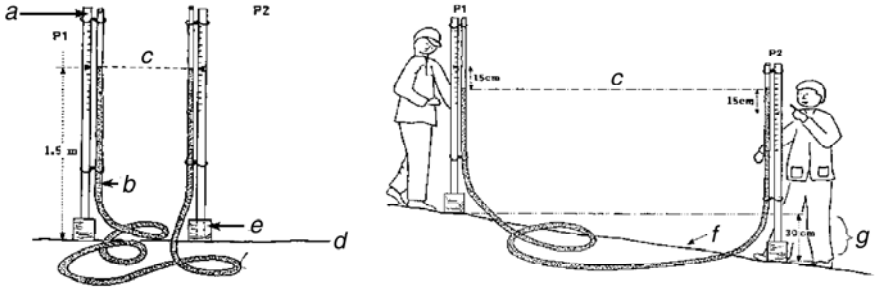
Mesure des différences d'altitude

La Figure 40-A montre un niveau d'eau. L'instrument consiste en:

- au moins 20 m de tuyau en plastique transparent d'un diamètre intérieur de 6 à 10 mm. Plus le tube est long, moins il faudra faire de mesures.
- deux bâtons de 1,5 à 2 m de longueur. Chaque bâton est gradué en centimètres. Une marque est faite sur chaque bâton à la hauteur de 1 m 50.
- quatre lanières en caoutchouc, en fil de fer ou en ficelle pour attacher le tube aux bâtons.
- deux boîtes de conserve remplies de ciment ou de morceaux de bois pour servir de base aux bâtons.
- au moins deux litres d'eau.

Le tuyau en plastique est attaché aux deux bâtons qui sont placés dans les boîtes de conserve. On remplit le tube en aspirant l'air à une de ses extrémités et en plongeant l'autre extrémité dans l'eau, jusqu'à ce que le niveau de l'eau atteigne la marque faite sur le bâton.

Le niveau de l'eau reste le même aux deux extrémités du tube tant qu'elles sont placées sur deux points situés au même niveau. Cependant, si on place le Bâton 2 à une altitude plus basse sur la pente, l'eau baisse à l'extrémité du tube proche du Bâton 2, et monte à l'extrémité proche du Bâton (Figure 40-B). La différence d'altitude entre les deux points au sol est égale à la somme de la baisse du niveau d'eau près du Bâton 1 et à la montée du niveau d'eau près du Bâton 2 : 15 + 15 = 30, dans l'exemple donné à la Figure 40-B. Si le niveau d'eau est bien manipulé, il suffit de noter la différence entre le niveau de l'eau et la marque faite sur l'un des deux bâtons et de multiplier le résultat par deux.



A: Préparation d'un niveau d'eau sur sol plat

B: Mesure des différences d'altitude

a: bâton gradué en centimètres
b: tuyau en plastique rempli d'eau
c: niveau de l'eau
d: boîte de conserve
e: sol plat
f: sol en pente
g: différence d'altitude

Figure 40 : Mesurement des différences d'altitude

Les pentes sont généralement trop longues pour que la différence d'altitude puisse être mesurée en une seule fois à l'aide d'un niveau d'eau. Il faut suivre plusieurs étapes. On commence comme dans l'exemple ci-dessus. Après avoir calculé la différence d'altitude entre les deux premiers points, on déplace le Bâton 2 et on le place à une altitude plus basse sur la pente que le Bâton 1. On mesure et on note la différence d'altitude entre le Bâton 1 et le Bâton 2. On répète ces étapes autant de fois que nécessaire pour couvrir toute la pente (du point le plus élevé au point le plus bas). La différence d'altitude sur toute la pente est égale à la somme de toutes les différences d'altitude partielles mesurées.

Marquage des courbes de niveau

Les courbes de niveau peuvent facilement être marquées à l'aide d'un niveau d'eau. On commence au point le plus haut d'un champ et on opère en descendant la pente. Deux personnes tiennent les bâtons, alors qu'une troisième trace la courbe de niveau en creusant le sol à la houe ou en plantant des piquets.

On mesure d'abord la différence totale d'altitude sur toute la pente comme décrit ci-dessus (ligne a-a de la Figure 41). On marque ces points tous les quelques mètres avec un jalon ou piquet. Ces piquets servent de point de départ pour marquer la courbe de niveau. On place le Bâton 1 sur un point de départ, près d'un piquet.

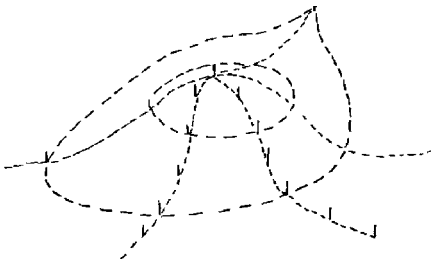


Figure 41 : Courbes de niveau.

On déplace le Bâton 2 aussi loin que possible en travers de la pente à un endroit où le niveau de l'eau est à 1,5 m sur les deux bâtons. Autrement dit, le Bâton 2 est à la même altitude que le Bâton 1. Après avoir marqué la position du Bâton 2 avec un piquet, on déplace le Bâ-

ton 1 et on continue de la même manière jusqu'à ce que la courbe de niveau soit tracée sur toute la pente. On peut ensuite

Détermination de l'inclinaison d'une pente

L'angle d'inclinaison d'une pente est parfois exprimé en degrés (une ligne horizontale = 180°), mais plus souvent en pourcentage. On calcule ce pourcentage (s) en divisant la différence d'altitude entre deux points ou distance verticale (h) par la distance horizontale (L) entre ces points, et en multipliant le résultat par 100% (voir aussi Figure 9, Chapitre 5).

Dans l'exemple suivant, la différence d'altitude est de 5 m sur une distance horizontale de 125 m. L'inclinaison de la pente est donc égale à :

$$s = \frac{h}{L} \times 100\% = \frac{5}{125} \times 100\% = 4\%$$

On peut déterminer l'inclinaison d'une pente à l'aide d'un niveau d'eau. On mesure d'abord la distance verticale (la différence d'altitude entre deux points donnés), ensuite la distance horizontale (la distance entre ces deux points au sol), à l'aide d'un mètre à ruban ou une chaîne d'arpentage. On peut ensuite calculer l'inclinaison de la pente à l'aide de la formule ci-dessus.

Bibliographie

Barrow,C. **Water Resources and Agricultural Development in the Tropics.** 1987. Longman/John Wiley & Sons, New York.

Baum, E., P.W. Wolff, M.A. Zobisch. **Acceptance of Soil and Water Conservation: Strategies and Technologies.** 1993. Witzenhausen: Deutsches Institut für tropische und subtropische Landwirtschaft.

Berton, S., **La maitrise des crues dans les bas-fonds** ; petits et microbarrages en Afriqueìde l'Ouest.,1988, pp. 474,

Camphuis Nicolas, Lavigne Delville Ph, **Aménager les bas-fonds dans les pays du Sahel**.,1998, pp. 527, Gret, ISBN: 2-86844-099-1

Carruthers, I., M. Rodriguez. **Matériels pour l'agriculture: 1500 références pour l'équipement des petites et moyennes exploitations.** 1993. Intermediate Technology Publications /GRET/CTA.

Cedou, C. ; Camphuis, N., **Le captage des sources**. Le Point Sur, 1987, pp. 19, GRET.

Chleq J-L, Dupriez H, **Eau et terres en fuite, metiers de l'eau du Sahel.,**1986, pp. 125, Terre et vie, CTA/L'Harmattan/APICA/ENDA. ISBN: 2-87105-001-06.

Critchley, W. **Looking after Our Land: Soil and Water Conservation in Dryland Africa.** 1991. Oxfam.

Critchley, W., C. Reij, A. Seznec. **Water Harvesting for Plant Production: Case Studies and Conclusions for Sub-Saharan Africa. Volume II.** 1992. World Bank Technical Paper no. 157. The World Bank, Washington.

Critchley, W., Siegert, K.. **Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production.** 1991. FAO, Rome.

Cullis, A., A. Pacey. **A Development Dialogue: Rainwater Harvesting in Turkana, Kenya.** 1992. Intermediate Technology Publications, London.

Doorenbos, J. et al. **Yield response to water.** 1979. FAO, Rome.

Doorenbos, J., W.O. Pruitt. **Guidelines for Predicting Crop Water Requirements.** 1977. FAO Irrigation & Drainage Paper no. 24. Rome.

Dupriez, H. ; Leener, P. de., **Les chemins de l'eau. Ruissellement, irrigation, drainage**. Manuel tropical..,1990, pp. 380, Terres et Vie; CTA; l'Harmattan; ENDA, ISBN: 2-87105-009-X.

FAO. **Conservation en zones arides et semi-arides.** 1976. Cahier F.A.O conservation des sols, no. 3. , Organisation de Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome.

FAO. **Tillage Systems for Soil and Water Conservation.** 1984. FAO Soils Bulletin no. 54, Rome.

Grimshaw G, Helfer L, **Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization** : a collection of papers and newsletters compiled by the Vetiver network. Technical paper 273, 1995, pp. 281, World Bank, . ISBN: 0 8213 3144 2.

Hoskings M, Weber F, **Fiches techniques de conservation du sol**.,1983, pp. 112, la Division de Formation Internationale.

Hudson, N.W. **Land Husbandry.** 1992. Batsford Limited, London.

IFAD. **Soil and Water Conservation in Sub-Saharan Africa: towards Sustainable Production for the Rural Poor.** 1991. IFAD, Amsterdam.

Nissen-Petersen, E. **Rain Catchment and Water Supply in Rural Africa: a Manual.** 1982. London. Chapter 7.

Pacey, A., A. Cullis. **Rainwater Harvesting: the Collection of Rainfall and Runoff in Rural Areas.** 1986. Intermediate Technology Publications, London.

Pieck, C. **Catchment and Storage of Rainwater**, 1985, TOOL, Amsterdam. pp. 43.

Reij, C., I. Scoones, C. Toulmin. **Sustaining the Soil: Indigenous Soil and Water Conservation in Africa.** 1996. Earthscan, London.

Reij, C., P. Mulder, L. Begemann. **Water harvesting for Plant Production. Volume I.** 1988. World Bank Technical Paper, no. 91. The World Bank, Washington.

Reijntjes, C., B. Haverkort, A. Waters-Bayer. **Farming for the Future: An Introduction to Low-External-Input and Sustainable Agriculture.** 1992. MacMillan, ETC/ILEIA. Chapter 5, Appendix A.

Rochette, R.M. (ed.). **Le Sahel en Lutte contre la Désertification: Leçons d'Expériences.** 1990. CILLS/PAC/GTZ. Margraf, Weikersheim.

Shanan, L., N.H. Tadmor. **Micro-catchment Systems for Arid Zone Development: a handbook for design and construction.** 1979. Hebrew University, Jerusalem.

Shaxson, I.F., N.W. Hudson, et al. **Land Husbandry: a Framework for Soil and Water Conservation.** 1989. Soil and Water Conservation Society, USA.

Soil and Water Conservation Handbook, 1995, FFTC Book Series-11.

Spaan, W.P., D. Meindertsma (eds.). **Soil and Water Conservation Measures.** 1994. Lecture notes of course K200-502. Department of Irrigation and Soil & Water Conservation, Wageningen Agricultural University.

Thomas, D.B. et al. **Soil and Water Conservation in Kenya.** 1989. SIDA, Nairobi.

UNEP. **Rain and Stormwater Harvesting in Rural Areas.** 1983. Dun Laoghaire, Ireland. Chapters 3, 4 and 5.

Adresses utiles

International Water Resources Association (IWRA)
IWRA has strived to improve water management worldwide through dialogue, education, and research for over 25 years. Since its official formation in 1972, the organization has actively promoted the sustainable management of water resources around the globe. IWRA seeks to improve water resource outcomes by improving our collective understanding of the physical, biological, chemical, institutional, and socioeconomic aspects of water.
Headquarters: 4535 Faner Hall, Southern Illinois University;
Carbondale, IL 62901-4516;
Fax: 618.453.6465;
E-mail: iwra@siu.edu web : http://www.iwra.siu.edu/

ADB Water for All (Asian Development Bank-water for all)
6 ADB Avenue, Mandaluyong City; 0401 Metro Manila, Philippines.
Mailing Address:
P.O. Box 789; 0980 Manila, Philippines.
Tel: + 632 632 4444; Fax: + 632 636 2444;
Email: information@adb.org. ; http://www.adb.org/Water/default.asp

Water Aid
WaterAid is an international NGO dedicated exclusively to the provision of safe domestic water, sanitation and hygiene education to the world's poorest people.
Prince Consort House, 27-29 Albert Embankment
SE1 7UB, London, UK.
Tel: +44 (0) 20 7793 4500. Fax:+44 (0)20 7793 4545
E-mail: wateraid@wateraid.org ; http://www.wateraid.org/

International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI)
ILRI works at the crossroads of livestock and poverty, bringing high-quality science and capacity-building to bear on poverty reduction and sustainable development for poor livestock keepers and their commu-

nities. IILRI is one of 16 Future Harvest Centres, supported by the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR).
P.O. Box 47, 6700 AA Wageningen; The Netherlands.
Tel: +31 317 495549; Fax; +31 317 495590;
E-mail: ilri@ilri.nl ; http://www.ilri.org

WCA infoNET: A Knowledge and Information Dissemination System on Water Conservation and Use in Agriculture
The WCA infoNET information system is an Internet-based integrated information platform which merges high quality information resources and expertise allowing direct access to publications, documents, data, computer programs and discussion groups which provide a knowledge base, support and the necessary global platform for decisions on water conservation and use in agriculture
The WCA infoNET and IPTRID Programme Office in Rome, Italy
Fax to +39 06 570 56275
E-mail: wca-infonet@fao.org,; http://www.wca-infonet.org/

International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)
ISRIC is a Foundation for Documentation, Training and Research on Soils of the World, It is the World Data Centre for Soils of the International Council of Sciences. ISRIC is involved in the Green water Initiative, to make accessible, in a simple and user friendly way, to those in close contact with farmers in Sub Sahara Africa, Information on Soils, Climate, Water and Conservation technologies, To stimulate learning and share experiences for Improved Water Use in dryland agriculture
PO..Box 353, 6700 AJ Wageningen, The Netherlands
Tel.: +31 317 471711 Fax: +31 317 471700
E-mail:soil.isric@wur.nl ; http://www.ISRIC.org

ILEIA: Center for information on low external input and sustainable agriculture(LEISA)
ILEIA started in 1984 in response to a concern that mainstream agricultural development - particularly the green revolution - was bypassing the small and marginal farmers in the South, eroding their livelihoods, affecting the environment adversely and leading to widespread

losses of agrobiodiversity. ILEIA started to identify promising technologies involving no or only marginal external inputs, but building on local knowledge and traditional technologies, where these still existed, and the involvement of the farmers themselves in development. Information about these technologies was exchanged mainly through the ILEIA Newsletter.
Zuidsingel 16; P.O.BOX 2067, 3800 CB Amersfoort, The Netherlands
Tel. +31 33 4673870. Fax +31 33 4632410.
E-mail: ileia@ileia.org; http://www.ileia.org

Glossaire

Agroforesterie: Culture de plantes pérennes ligneuses (arbres, arbustes) sur le même terrain que les produits cultivés, le pâturage et/ou l'élevage de bétail, soit en même temps, soit échelonnée dans le temps.

Alfisols: Sols gris, bruns ou rouges des régions humides et sub-humides, avec une couche d'argileuse blanche. Très productifs du point de vue agricole.

Aride: Climat très sec, pluviosité annuelle moyenne inférieure à 300 mm. Culture seulement possible grâce à la collecte de l'eau ou l'irrigation.

Collecte de l'eau courante: Système de collecte de l'eau qui utilise un cours d'eau comme source de ruissellement. Rapports C:CA très variables.

Colmatage: Le sol forme une sorte de ciment argileux après la pluie, car les fines particules bouchent les pores du sol. Appelé aussi cimentation.

Cours d'eau éphémère: Cours d'eau de courte durée, souvent torrentiel dans un lit normalement sec

Courbe de niveau: Ligne imaginaire reliant tous les points d'un terrain situés à une même altitude.

Déversoir: Ouverture permettant l'écoulement de l'excès de ruissellement.

Distance horizontale: Distance horizontale entre deux structures. Appelée aussi intervalle horizontal.

Distance verticale: Distance entre deux structures, déterminée sur la base d'une difference fixée dans l'altitude du sol. appelée aussi intervalle horizontal.

Erosion par rejaillissement de la pluie: Erosion du sol causée par l'impact des gouttes de pluies sur un sol humide.

Evaporation: Processus dans lequel l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux.

Fixation de l'azote: Capacité de certains micro-organismes (bactéries, algues, et.) à convertir l'azote de l'air (nutriment des plantes) sous une forme utilisable par les plantes. Ces organismes vivent près des racines des légumineuses.

Fossé de dérivation: Fossé qui protège la zone cultivée du ruissellement externe, creusé à un angle d'inclinaison de 0,25 à 0,5%.

Inclinaison (d'une pente): Angle d'inclinaison d'une pente, exprimé en degrés ou en pourcentage (voir Annexe 5).

Humidité du sol: Eau retenue dans le sol à la disposition des racines des plantes.

Infiltration: Pénétration et absorption de l'eau de pluie dans le sol.

Interception: Les feuilles et les tiges des plantes recueillent et retiennent l'eau de pluie au-dessus de la surface du sol.

Pérenne (plante): Plante vivant trois ans ou plus et donnant normalement des fleurs et des fruits à partir de la deuxième année.

Profil d'humidité du sol: Profondeur à laquelle l'eau s'infiltre dans le sol, appelé aussi limite d'infiltration.

Rétention en dépressions: Rétention temporaire de l'eau de pluie dans des creux de terrain.

Semi-aride (climat): Climat très chaud avec une pluviosité annuelle moyenne d'environ 300-700 mm et une très grande variabilité des pluies.

Stolonifère: Plante qui se reproduit en étalant des stolons, par ex. l'herbe.

Sub-humide: Climat humide avec une pluviosité annuelle moyenne d'environ 700-1000 mm.

Taux d'infiltration: Niveau limite auquel la pluie peut être absorbée par la surface du sol.

Transpiration: Perte de vapeur d'eau par les pores des feuilles des plantes.

Vertisols: Sols noirs (subtropicaux) très riches en argile, aux fissures profondes et larges quand ils sont secs et difficiles à labourer quand ils sont humides.